

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : Hydraulique

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**Contribution à l'amélioration d'une chaîne de traitement des
eaux potables. Cas d'étude Station de traitement de
Hammam Debaghe-Guelma**

Présenté par : Hebbachi Mohammed Eddine / Bekoul Dia Eddine

Encadrant : *Bouslah Soraya*

MCA

UBMA

Jury de Soutenance :

HAMMAR Yahia	Prof	UBMA	Président
BOUSLAH SORAYA	MCA	UBMA	Encadrant
DJEDAOUNE AMEL	MCB	UBMA	Co-encadrant
BENOUARA Nawel	MCB	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier **Allah** de nous 'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.*

*Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadrant **Mme Bouslah Soraya**, de nous avoir laissé une large autonomie dans ce travail,*
pour nous diriger sur des pistes de réflexions riches et porteuses. pour sa précieuse aide, ses orientations ainsi pour son engagement sérieux, responsable et le temps qu'elle nous a accordé pour notre encadrement : Merci.

*à notre Co-encadrant **Mme Djedaoune Amel***

pour sa précieux conseils et bonnes orientations.

*On tient à remercier aussi, toute l'équipe Pédagogique de Département d'hydraulique et les intervenants Professionnels responsables de la formation à leur tête le chef de Département **Mr Lakehal Moussa***

Nous remercions également nos professeurs.

Tout le personnel de la station de traitement de Hammam Debagh, pour leur accueil sympathique et leur Coopération professionnelle tout au long de stage.

Enfin, nous tenons à remercier profondément toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué à l'achèvement de ce travail.

Dédicaces

Au nom d'Allah le clément et le miséricordieux et de fidélité,

Je dédie ce présent mémoire :

A mes deux êtres les plus précieux et plus chers au monde : mon père & ma mère,

Sources de mes joies, secrets de ma force - que Allah les protège - ;

Vous serez toujours le modèle Papa, dans ta détermination, ta force et ton honnêteté ;

Maman dans ta bonté, ta patience et ton dévouement pour nous.

Merci pour tous vos prières et sacrifices pour que vos enfants grandissent et prospèrent.

Merci de trimer sans relâche, malgré les péripéties de la vie, et au bien-être de vos enfants. Merci d'être tout simplement mes parents. C'est grâce à vous j'ai pu affronter les difficultés.

C'est à vous que je dois cette réussite et je suis fier de vous l'offrir.

A mes sœurs, en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour elles. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, santé et de réussite.

A toute ma famille et les liens.

A mes chers amis ; Nour Eddine, Islam, Achraf, Hafide, Aymen, Badri, Soufian, Chihab, Ziad, Housseem, Sayed, Oussama...

A Rayane Bounabe ...

Avec eux j'ai passé mes superbes moments.

A Mr Koudria Smaine, Dr Adjabi Lotfi...

Ainsi que tous mes collègues du département d'hydraulique et spécialement la promo

A tous ceux qui me sont chers

- Hamdi -

Dédicaces

La seule dédicace à la couronne de ma tête ma « mère »,

et mon amie d'enfance et ma plus grande supportrice,

Salsabil.

-Bekoul Dia Eddine-

ملخص

تعد المياه السطحية لسد حمام دباغ أحد المصادر الرئيسية لمياه الشرب لسكان ولاية قالمة. الهدف من هذه الدراسة هو إجراء تشخيص لمحطة معالجة مياه الشرب في حمام دباغ، الواقعة في ولاية قالمة للمساعدة في تحسين عمل خطي إنتاج المياه اللذين يعانيان من مشاكل وظيفية تؤثر على مردودية المعالجة. التخثر هو أحد أهم الخطوات في معالجة المياه. تكمن الصعوبة الرئيسية في تحديد الجرعة المثلى من المواد المخثرة التي سيتم حقنها وفقاً لخصائص الماء الخام. من المهم معرفة التباين في جودة المياه في هذه المحطة لفهم وتفسير سلوك المكونات المختلفة للعملية المعنية بشكل أفضل.

من أجل إنشاء نموذج رياضي للتنبؤ بالجرعة المخثرة، استخدمنا بنية عصبية نظيفة وهي الإدراك متعدد الطبقات (MLP) في نهاية دراستنا لاقتراح نموذج ذكاء اصطناعي من نوع الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) لتقييم أداء النموذج، ومعايير متوسط الخطأ المربع (MSE)، والخطأ المتوسط المطلق (EMA) ومعامل الانحدار (R). ولذلك فإن استخدام هذا النموذج سيسمح للمشغلين بما يلي: خفض التكاليف والوقت اللازمين لإجراء اختبار انبوبي؛ فضلاً عن التنبؤ بجرعة مناسبة لكميات المواد المخثرة لضمان إنتاج مياه الشرب وفقاً للمعايير الجزائرية.

الكلمات المفتاحية: خثارة، مياه الشرب، التنبؤ، محطة المعالجة، الشبكات العصبية الاصطناعية.

RESUME

Les eaux de surface du barrage de Hammam Debagh constituent l'une de principales sources d'approvisionnement en eau potable de la population de la ville de Guelma. L'objectif de cette étude est de faire un diagnostic de la station de traitement d'eau potable de Hammam Dbagh, située à la Wilaya de Guelma pour contribuer à l'amélioration du fonctionnement des deux chaines de production d'eau qui présentent des problèmes de fonctionnement influençant le rendement de traitement. La coagulation est l'une des étapes les plus importantes dans le traitement des eaux. La difficulté principale est de déterminer la dose optimale de coagulant à injecter en fonction des caractéristiques de l'eau brute. La connaissance de la variation de la qualité des eaux au niveau de cette station est importante pour comprendre et mieux interpréter le comportement des différentes composantes du processus mis en jeu.

Afin d'établir un modèle mathématique de prédiction de la dose du coagulant, nous avons utilisé une structure neuronale propre qui est le perceptron multicouche (MLP). A la fine de notre étude en à proposer un modelé d'intelligence artificielle de type Artificial Neural Networks (ANN). Pour évaluer la performance du modèle, les paramètres de l'erreur quadratique moyenne (EQM), l'erreur moyenne absolue (EMA) et le coefficient de régression (R). L'utilisation de ce modèle permettra donc aux opérateurs de : Réduire les coûts et le temps nécessaire pour effectuer des tests expérimentaux du Jar-test ; ainsi que prédire un dosage

approprié pour les quantités de coagulant afin d'assurer la production d'eau potable conforme aux normes Algériennes.

Mot clé : Coagulant, eau potable, prédiction, station de traitement, Réseaux de neurones artificiels.

ABSTRACT

The surface water of the Hammam Debagh dam is one of the main sources of drinking water for the population of the town of Guelma. The objective of this study is to make a diagnosis of the drinking water treatment plant of Hammam Dbagh, located at the Wilaya de Guelma to help improve the functioning of the two water production lines that present functional problems affecting the treatment yield. Coagulation is one of the most important steps in water treatment. The main difficulty is to determine the optimal coagulant dose to be injected according to the characteristics of the raw water. Knowledge of the variation in water quality at this station is important to understand and better interpret the behaviour of the different components of the process involved.

In order to establish a mathematical model for the prediction of coagulant dose, we used a clean neuronal structure which is the multilayer perceptron (MLP). At the end of our study in to propose an artificial intelligence model of type Artificial Neural Networks (ANN). To evaluate the performance of the model, the parameters of the mean square error (MSE), the absolute mean error (EMA) and the regression coefficient (R). The use of this model will therefore allow operators to: Reduce the costs and time needed to perform Jar-test; as well as predict an appropriate dosage for the amounts of coagulant to ensure the production of drinking water in accordance with Algerian standards.

Keywords: Coagulant, drinking water, prediction, treatment station, artificial neural networks.

SOMMAIRE

ملخص

Abstract

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... I

Chapitre I

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE TRAITEMENT DES EAUX POTABLES

I.1. Introduction.....	1
I.2 Oxydation	1
I.2.1 L'oxydation chimique	1
I.2.2 L'oxydation physico-chimique.....	2
I.3. Préchloration	3
I.4. Coagulation/floculation.....	4
I.4.1. La coagulation.....	6
I.4.2. La floculation.....	7
I.5. Décantation ou Flottation	9
I.6. Filtration	14
I.7. Désinfection.....	17
I.8. Conclusion.....	18

Chapitre II

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.1. Introduction.....	19
II.2 Situation géographique.....	19
II.3 Localisation et objectif de la station	19
II.3.1 Localisation.....	19
II.3.1 Objectif de station de traitement de Hammam Debaghe.....	21
II.4 Géomorphologie et réseau hydrographique.....	21
II.5 Cadre géologique.....	23

II.6 Cadre hydrogéologique.....	24
II.7 Aspects sociaux économiques.....	24
II.8 Etude climatologique.....	25
II.8.1 Température.....	25
II.8.2 Précipitation.....	26
II.8.3 L'humidité.....	27
II.8.4 Le vent.....	27
II.9 Conclusion.....	27

CHAPITRE III

DISCRIPTION & DIAGNOSTIC DE LA STATION DE TRAITEMENT

III.1 Introduction.....	28
III.2 Description de la station de traitement d'eau potable Hammam de Debagh-Guelma.....	28
III.2.1 Origine de l'eau brute.....	28
III.2.1.1 La première chaine de production (ancienne station).....	28
III.2.1.2 La deuxième chaine de production (Extension).....	28
III.2.2 Les ouvrages existants.....	29
III.2.2.1 Bassins de mélanges.....	29
III.2.2.1.1 La première chaine de production (ancienne station).....	29
III.2.2.1.2 La deuxième chaine de production (Extension).....	31
III.2.2.2 Décanteur.....	36
III.2.2.2.1 La première chaine de production (ancienne station).....	36
III.2.2.2.2 La deuxième chaine de production (Extension).....	37
III.2.2.3 Filtre à sable.....	39
III.2.2.3.1 La première chaine de production (ancienne station).....	39
III.2.2.3.2 La deuxième chaine de production (Extension).....	41
III.2.2.4 Désinfection et stockage	45
III.2.2.4.1 La première chaine de production (ancienne station).....	45
III.2.2.4.2 La deuxième chaine de production (Extension).....	45
III.3. Comparaison.....	48
III.4 Les problèmes rencontrés.....	49

III.4.1 Décanteur.....	49
III.4.1.1 La premier chaine de production (ancien station).....	49
III.4.1.2 La deuxième chaine de production (extension).....	50
III.4.2 Les filtres à sable.....	50
III.4.2.1 La première chaine de production (ancienne station).....	50
III.4.2.2 La deuxième chaine de production (extension).....	51
III.4.3 L'automatisme.....	51
III.4.3.1 La première chaine de production (ancienne station).....	51
III.4.3.2 La deuxième chaine de production (extension).....	51
III.5 Les solution proposées.....	52
III.5.1 Décanteur.....	52
III.5.1.1 La première chaine de production (ancienne station).....	52
III.5.1.2 La deuxième chaine de production (extension).....	52
III.5.2 Filtre à sable.....	52
III.5.2.1 La premier chaine de production (ancien station).....	52
III.5.2.2 La deuxième chaine de production (extension).....	53
III.5.3 L'automatisme.....	53
III.5.3.1 La première chaine de production (ancienne station).....	53
III.5.3.2 La deuxième chaine de production (extension).....	53
III.6 Conclusion.....	54

CHAPITRE IV

QUALITE DES EAUX DE LA STATION DE TRAITEMENT

IV.1 Introduction.....	55
IV.2 Détermination du rendement de la station.....	55
IV.2.1 Rendement d'élimination de la turbidité première chaine de production.....	55
IV.2.2 Rendement d'élimination de la turbidité deuxième chaine de production (Extension).....	56
IV.2.1.1 Le Décanteur.....	57
V.2.1.2 Le filtre à sable.....	59
IV.2.2 Diagramme de variation spatiotemporelle des paramètres mesures.....	61
IV.3 Conclusion	63

CHAPITRE V :

MODELISATION DE LA DOSE DE COUAGULANT

V. 1 INTRODUCTION.....	64
V.2 Méthode de construction des modèles RNA.....	64
V.2.1 Taille de la base des données.....	64
V.2.2 Partage de l'ensemble des données.....	65
V.2.3 Fonction d'activation.....	65
V.2.4 Critère de l'arrêt d'entraînement.....	65
V.2.5 Mesure des performances de prédiction.....	66
V.3 Prédiction de la dose de coagulation par différents modèles réseaux de neurones....	66
V.3.1 Prédiction de la dose de coagulation par modèle PMC.....	66
V. Conclusion.....	69
Conclusion Générale.....	70
Références bibliographiques.....	72

Liste des figures

Chapitre I

GENERALITE SUR LE TRAITEMENT DES EAUX POTABLES

Figure I.1	Dispersion de l'eau dans l'air.....	3
Figure I.2	Dispersion de l'air dans l'eau.....	3
Figure I.3	La coagulation floculation.....	4
Figure I.4	Présentation de la coagulation / floculation.....	5
Figure I.5	Jar- teste.....	5
Figure I.6	Le Décanteur.....	10
Figure I.7	Filtre à sable.....	15
Figure I.8	Filtre à sable pressurisé.....	15
Figure I.9	Filtre à membranes.....	17

Chapitre II

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Figure II.1	Station de traitement eaux potables de Hamame Debaghe Guelma.....	20
Figure II.2	Barrage Bouhamdane.....	21
Figure II.3	Carte de situation géographique de la zone d'étude	23
Figure II.4	Réseau hydrographique.....	23
Figure II.5	Géomorphologie de la région de Guelma.....	24

Chapitre III

DISCRIPTION & DIAGNOSTIC DE LA STATION DE TRAITEMENT

Figure III.1	Sous bassin de pré-chloration et oxydation 1 ère chaine de production.....	29
Figure III.2	Bassin de mélange 1 ère chaine de production.....	31
Figure III.3	Schéma des cascades d'aération.....	31
Figure III.4	Cascades d'aération 2 ème chaine de production.....	32

Figure III.5	Bassin de correction du pH et de pré-chloration 2 ^{ème} chaine de production.....	32
Figure III.6	Bâche de coagulation 2 ^{ème} chaine de production.....	34
Figure III.7	Bâche de floculation 2 ^{ème} chaine de production.....	35
Figure III.8	Bassin de mélange 2 ^{ème} chaine de production.....	35
Figure III.9	Décanteur 1 ^{ère} chaine de production.....	37
FigureIII.10	Décanteur 2 ^{ème} chaine de production.....	38
FigureIII.11	Modules de 3 filtres ouverts à sable 1 ^{ère} chaine de production.....	39
FigureIII.12	Filtres en cours d'opérations de lavage 1 ^{ère} chaine de production.....	40
FigureIII.13	Filtre à sable 2 ^{ème} chaine de production.....	41
FigureIII.14	Filtres en cours d'opérations de lavage 2 ^{ème} chaine de production.....	43
FigureIII.15	Réservoir de stockage 1 ^{ère} chaine de production.....	45
FigureIII.16	Réservoir de stockage 2 ^{ème} chaine de production.....	47
FigureIII.17	Evacuation des boues du fond de décanteur manuellement avec des pompes mobiles 1 ^{ère} chaine de production.....	49
FigureIII.18	Le problème de stagnation dans le dernier filtre de module de filtration 1 ^{ère} chaine de production.....	50
FigureIII.19	Des vannes électrique avec mode local/ distance 2 ^{ème} chaine de production.....	51
FigureIII.20	Tableaux électrique de contrôle des vannes électrique à distance 2 ^{ème} chaine de production.....	52

Chapitre IV

QUALITE DES EAUX DE LA STATION DE TRAITEMENT

Figure IV.1	Rendement d'élimination de la turbidité 1 ^{ère} chaine de production.....	55
Figure IV.2	Rendement d'élimination de la turbidité 2 ^{ème} chaine de production.....	56
Figure IV.3	Rendement du décanteur 1 ^{ère} chaine de production.....	57
Figure IV.4	Rendement du décanteur 2 ^{ème} chaine de production.....	58
Figure IV.5	Rendement du filtre a sable 1 ^{ère} chaine de production.....	59
Figure IV.6	Rendement du filtre a sable 2 ^{ème} chaine de production.....	60
Figure IV.7	Evolution spatiotemporelle des paramètres physicochimiques (pH, Turbidité, Conductivité, TDS, Salinité, Chlore, Température) 1 ^{ère} chaine de production.....	61

Figure IV.8	Evolution spatiotemporelle des paramètres physicochimiques (pH, Turbidité, Conductivité, TDS, Salinité, Chlore, Température) 2 ^{ème} chaine de production.....	62
-------------	---	----

Chapitre V

MODELISATION DE LA DOSE DE COUAGULANT

Figure V.1	Dose de coagulant prédite par modèle MPC (4-9-1) versus dose de coagulant utilisée par les gestionnaires de la station (valeur cible).....	67
Figure V.2	Comparaison des valeurs observées et calculées pour le modèle RLM, calage et validation.....	68

Liste des tableaux

Chapitre I

GENERALITE SUR LE TRAITEMENT DES EAUX POTABLES

Tableau I.1	Le temps de décantation de différentes particules.....	10
Tableau I.2	Différents types de décanteurs.....	12

Chapitre II

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau II.1	Température moyenne, max moyenne et min moyenne de l'année 2022 à Guelma.....	26
---------------------	---	----

Chapitre II

DISCRIPTION & DIAGNOSTIC DE LA STATION DE TRAITEMENT

Tableau III.1	Dimension de bassin de coagulation 1 ^{er} chaine de production.....	30
Tableau III.2	Dimension de bassin de floculation 1 ère chaine de production.....	30
Tableau III.3	les dimensions de bassin de correction du pH et de pré-chloration 2 ^{eme} chaine.....	33
Tableau III.4	les dimensions de bache de coagulation 2 ^{eme} chaine.....	34
Tableau III.5	Les dimensions de bache de Floculation 2 ^{eme} chaine.....	36
Tableau III.6	Les dimension de décanteur 1 ère chaine de production.....	37
Tableau III.7	les dimensions de décanteur 2 ^{eme} chaine.....	38
Tableau III.8	Les dimensions des unités de filtration 2 ^{eme} chaine.....	40

Tableau III.9	Les Consommation d'air et d'eau dans les unités de filtration 2 ^{eme} chaine de production	42
Tableau III.10	Dimensionnement des unités de filtration 2 ^{eme} Chaîne de production.....	44
Tableau III.11	Dimensionnement de la bache de chloration 2 ^{eme} chaine production.....	46
Tableau III.12	la comparaison entre les deux chaines de production.....	48

Chapitre V

MODELISATION DE LA DOSE DE COUAGULANT

Tableau V.1	Performances de la prédiction de la dose de coagulant par modèle MPC (4-9-1).....	67
--------------------	---	----

Introduction Générale

En Algérie, l'utilisation croissante des ressources hydrauliques s'est tournée vers les eaux de surface, qui constituent une part importante de ces ressources, en particulier dans la région Nord du pays. Cela s'explique par l'épuisement progressif des réservoirs souterrains. Bien que les eaux de surface soient généralement plus abondantes que les eaux souterraines, elles sont également plus vulnérables aux sources de pollution d'origine naturelle et humaine. Dans de nombreuses grandes villes à travers le monde, l'approvisionnement en eau potable dépend principalement des sources d'eau de surface.

En général, ces municipalités optent pour des méthodes de traitement conventionnel pour assurer la potabilité de l'eau. En Algérie il existe plus de quatre-vingts grandes stations de traitement, de différentes conceptions, dont la plupart ont été construites récemment, Parmi eux la station de traitement des eaux potable de Hammam Debaghe a la willaya de Guelma. Le processus de traitement conventionnel comprend généralement six étapes : l'oxydation, la pré chloration, coagulation-floculation, décantation, filtration sur sable et la désinfection. Ce processus de traitement a été initialement conçu pour réduire la turbidité de l'eau et inactiver les microorganismes pathogènes.(Desjardins 1997).

Dans ce contexte s'inscrit le présent travail intitulé : « Contribution et amélioration de la station de traitement de Hammam Debaghe Guelma ».

L'objectif de notre étude est de faire une contribution pour améliorer le fonctionnement de la station de traitement des eaux potables, qui sont destinées à l'approvisionnement en eau potable de la ville, les communes de Hammam Debaghe, Mdjaze Ammar, Aine Hssaynia, Ben Djerahe et prochainement la région d'Oued Znati, en optimisant le processus de traitement de cette eau. Nous nous concentrerons principalement sur la description de cette station et le diagnostic détaillé des ouvrages et leurs problèmes, ainsi l'étude de la qualité des eaux qui se base sur le calcul du rendement de la station et le rendement de décanteur et filtre à sable.

L'étude comprend Cinq chapitres :

- ❖ Le premier chapitre GENERALITE SUR LE TRAITEMENT DES EAUX POTABLE consacrés à une synthèse bibliographique sur le processus de traitement des eaux brutes.
- ❖ Le deuxième chapitre PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : présentation la zone d'étude.

- ❖ Le troisième chapitre DESCRIPTION ET DIAGNOSTIC : diagnostic détaillé et une description complète des deux chaînes de production de la station de traitement / les ouvrages et leurs problèmes.
- ❖ Le quatrième chapitre Qualité des eaux de la station de traitement : l'étude de la qualité des eaux qui se base sur le calcul du rendement de la station et le rendement de décanteur et filtre à sable.
- ❖ Le cinquième chapitre modélisation de la dose optimale de sulfate d'aluminium : en se basant sur les données enregistrées dans la station de traitement on va élaborer un modèle mathématique afin de prédire la dose optimale.
- ❖ Une conclusion générale clôture notre mémoire.

CHAPITRE I
GENERALITE SUR LE
TRAITEMENT DES EAUX
POTABLE

I.1 Introduction

L'eau douce est une ressource indispensable à la vie, elle mérite une attention toute particulière, étant donné qu'elle peut être altérée et sérieusement menacée par l'activité humaine. La croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels (McKinney, 2002). L'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et des pesticides et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent au déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs (Mulliss et al., 1997). La connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface constitue un moyen d'investigation parmi d'autres pour l'évaluation des risques de pollution et l'état de contamination de ces eaux. Une eau possède un patrimoine géochimique d'origine naturelle qui évolue en fonction de la nature géologique des terrains traversés.

En entrant dans la chaîne de traitement, l'eau brute passe par six étapes très importantes pour le rendre potable et pour éliminer les matières en suspension, d'où ces matières peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles...). Ou d'origine organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que les bactéries, plancton, algues et virus. Ces substances sont responsables de la turbidité et de la couleur.

Cela se fait par des opérations successives et importantes, à savoir l'oxydation, la préchloration, coagulation-floculation, décantation, filtration sur sable et la désinfection.

I.2 Oxydation

Généralement dans les stations de traitement le processus d'oxydation est placé comme la première étape du traitement de l'eau afin d'éliminer les bactéries aérobies et anaérobies, le fer, le manganèse, et autres avantages l'élimination d'odeur et le goût indésirables, il y a plusieurs procédés d'oxydation chimique et physico-chimique sont couramment utilisés. Voici quelques-uns des procédés d'oxydation les plus utilisés :

I.2.1 L'oxydation chimique

1. L'oxydation par chloration

La chloration est l'un des procédés d'oxydation les plus répandus dans le traitement de l'eau. Le chlore, sous forme de gaz ou de produits chimiques tels que l'hypochlorite de sodium, est

ajouté à l'eau pour oxyder les matières organiques, éliminer les micro-organismes pathogènes et désinfecter l'eau.

2. L'oxydation par ozone

L'ozone est un puissant oxydant utilisé pour l'oxydation et la désinfection de l'eau. Il est généré en utilisant des générateurs d'ozone et introduit dans l'eau pour oxyder les composés organiques, les pesticides, les herbicides et les micro-organismes. L'ozone est efficace pour éliminer les goûts, les odeurs et les substances indésirables dans l'eau.

3. L'oxydation par rayonnement ultraviolet (UV)

L'oxydation par rayonnement UV implique l'utilisation de lampes UV spéciales qui émettent une lumière ultraviolette à une longueur d'onde spécifique. Cette lumière est utilisée pour détruire les micro-organismes pathogènes et oxyder certains composés organiques présents dans l'eau. Le procédé d'oxydation par UV est souvent utilisé en combinaison avec d'autres méthodes de désinfection.

I.2.2 L'oxydation physico-chimique

1. L'oxydation par aération

L'aération permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation, enlever les gaz dissous ou éliminer les goûts et odeurs. L'aération suit les lois de l'échange gaz-liquide, pour le transfert des solutés à travers une interface air-liquide. L'aération peut être installée en tête de la chaîne de traitement de l'eau comme étape d'oxydation

En compte les techniques d'aération suivants :

- ❖ Dispersion de l'eau dans l'air (figure I.1).
- ❖ Dispersion de l'air dans l'eau (figure I.2).



Figure I.1 : Dispersion de l'eau dans l'air.

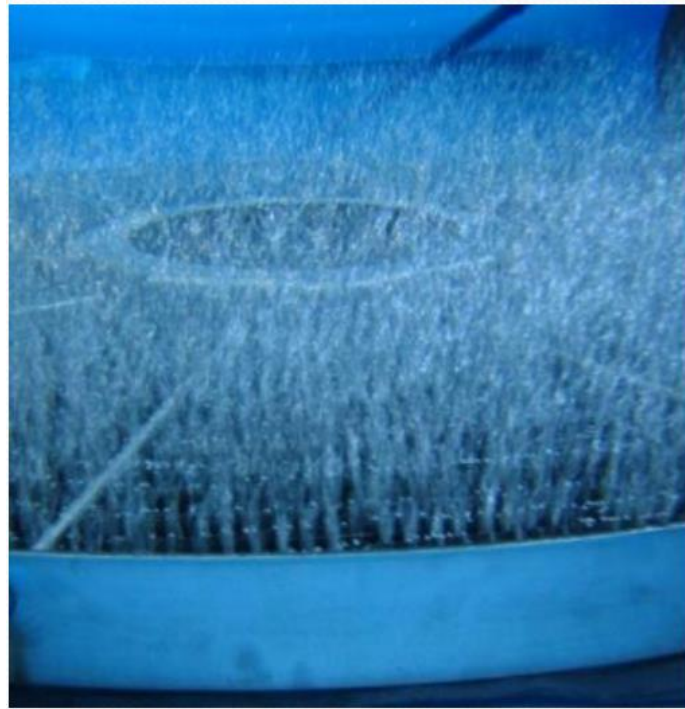


Figure I.2 : Dispersion de l'air dans l'eau.

I.3. Préchloration

La pré-chloration est un processus utilisé dans le traitement de l'eau potable. Il consiste à ajouter du chlore à l'eau brute avant qu'elle ne soit traitée plus en profondeur dans les installations de traitement.

L'objectif principal de la pré-chloration est de désinfecter l'eau en éliminant les organismes pathogènes tels que les bactéries, les virus. Le chlore est un agent désinfectant efficace et couramment utilisé dans le traitement de l'eau en raison de sa capacité à éliminer de nombreux types de micro-organismes.

En plus, la pré-chloration peut également aider à réduire les goûts et les odeurs indésirables de l'eau brute en oxydant les composés organiques présents. Cela peut inclure des substances telles que les matières organiques naturelles, les algues et les produits chimiques organiques présents dans l'eau.

La pré-chloration est généralement réalisée en ajoutant du chlore gazeux ou un composé de chlore, tel que l'hypochlorite de sodium ou l'hypochlorite de calcium, directement à l'eau brute.

I.4. Coagulation/floculation

Les particules colloïdales sont la principale cause de la turbidité et de la couleur de l'eau car elles restent très longtemps en suspension dans l'eau et peuvent passer même à travers des filtres fins et surtout elles ne collent pas entre elles, (Abdelghani and Abdelaali, 2016)

Le procédé de coagulation et de floculation sont assurés l'élimination de cette particule à la première étape on a la déstabilisation des particules en suspension pour provoquer leur agglomération ce processus (la coagulation), est effectué dans un bassin de mélange par l'injection des produits chimiques avec une agitation rapide, et on deuxième étape avec une agitation lente à favoriser les contacts entre les particules déstabilisée (figure I.3). Où cette dernière forme un floc (floculation) donc facile à éliminer dans le décanteur (figure I.4).

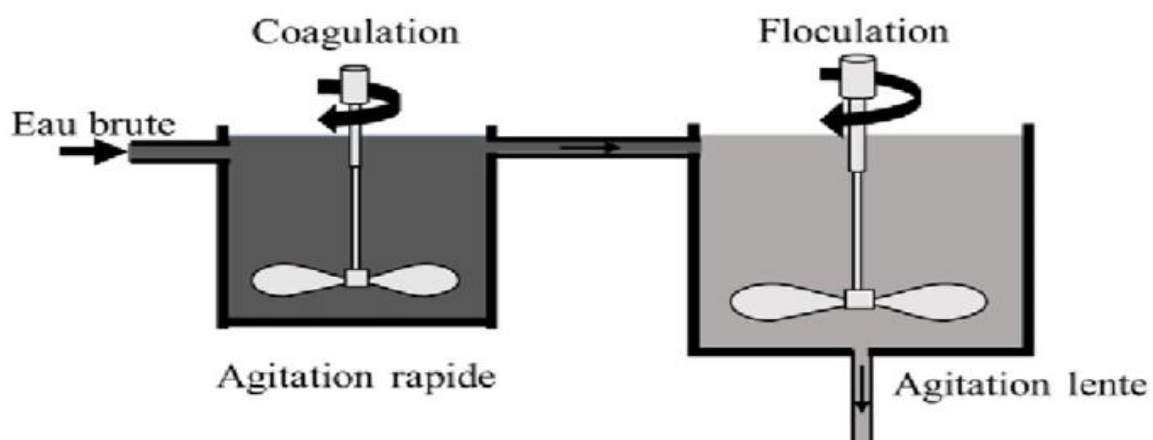


Figure I.3 : La coagulation / floculation

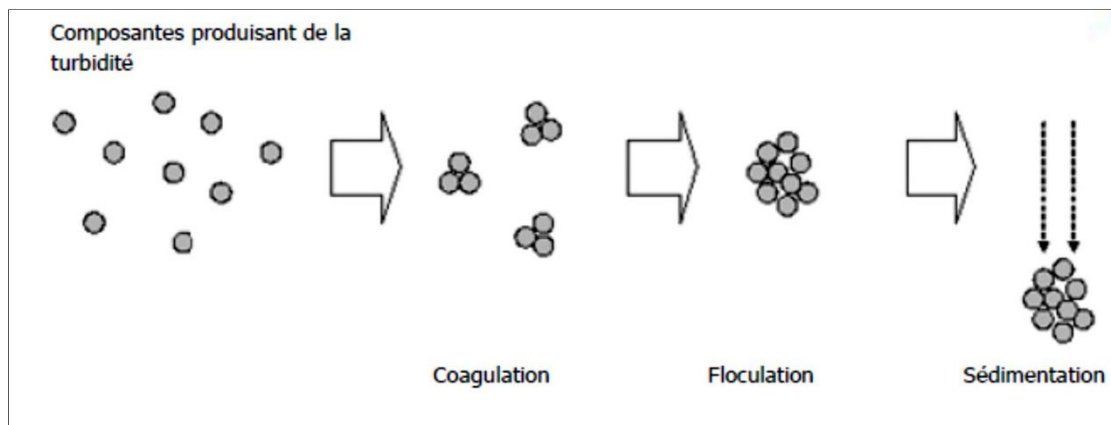


Figure I.4 : Présentation de la coagulation / flocculation

Il faut effectuer des essais de « JAR-TEST » (figure I.5) pour identifier correctement le type de coagulant et la dose optimale pour une eau donnée. Ces essais permettent d'évaluer la performance de différents coagulants et d'ajuster la dose pour obtenir une bonne coagulation-flocculation. Il est vrai que l'utilisation d'un seul coagulant peut ne pas être suffisante dans tous les cas, car les caractéristiques de l'eau varient d'un endroit à l'autre. Par conséquent, l'ajout d'un aide-coagulant peut améliorer les performances du traitement de l'eau. Les adjuvants les plus couramment utilisés sont la silice activée et les poly-électrolytes.

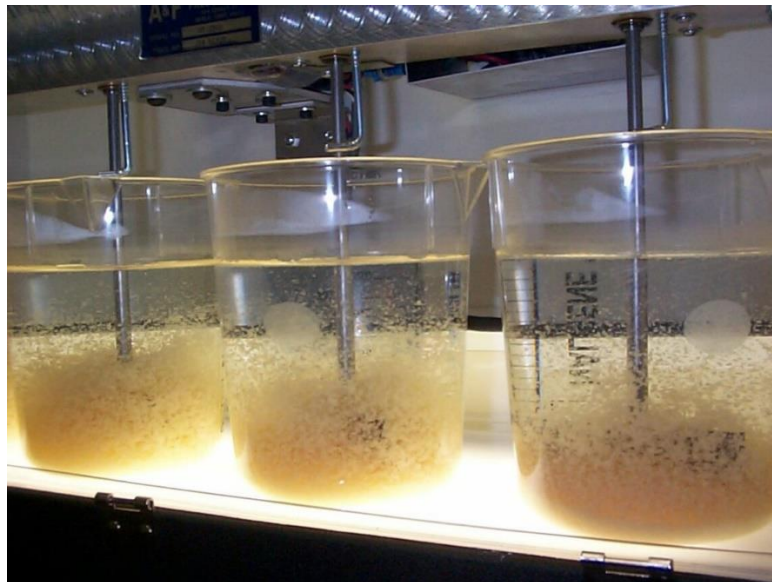


Figure I.5 : Jar-teste.

La silice activée est un adjuvant qui agit par adsorption et pontage entre les particules en suspension dans l'eau. Elle aide à former des floccs plus volumineux et facilite leur sédimentation, ce qui améliore l'efficacité du processus de coagulation-floculation.

Les poly- électrolytes sont des polymères qui peuvent être chargés positivement (cationiques) ou négativement (anioniques). Ils agissent en se fixant sur les particules en suspension dans l'eau, ce qui favorise leur agglomération en floccs plus gros et facilite leur élimination.

L'utilisation d'adjuvants tels que la silice activée et les poly-électrolytes peut donc contribuer à améliorer l'efficacité du traitement de l'eau en favorisant la formation de floccs plus solides et en facilitant leur séparation du liquide. Cependant, il est important de choisir les adjuvants appropriés en fonction des caractéristiques spécifiques de l'eau à traiter et de réaliser des essais pour déterminer la meilleure combinaison de coagulant et d'adjuvant, ainsi que les doses optimales.

I.4.1. La coagulation

Le terme "coagulation" trouve son origine dans le latin "coagulare", signifiant "agglomérer". La coagulation se produit lorsqu'on ajoute des réactifs chimiques à des dispersions aqueuses dans le but de regrouper les fines particules dispersées en agrégats plus gros. Les particules hydrophiles sont entourées d'une charge électrique et d'une couche d'eau, ce qui a pour effet de les maintenir éloignées les unes des autres et de les stabiliser dans la solution. L'objectif principal de la coagulation est de perturber cette stabilité des particules afin de favoriser leur agglomération. (Abdelghani and Abdelaali, 2016)

❖ Les différents types de coagulants

Les coagulants sont des substances qui neutralisent les charges de surface des particules colloïdales. Les coagulants couramment utilisés pour déstabiliser les particules colloïdales sont des sels d'aluminium ou de fer hydrolysables à un pH proche de la neutralité. Les coagulants les plus répandus dans le traitement de l'eau sont le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique. Cependant, ces dernières années, des polymères d'aluminium ayant une efficacité accrue en tant que coagulants ont été développés, tels que le polychlorure d'aluminium. Ces polymères offrent de meilleures performances en termes de coagulation et de floculation des particules en suspension dans l'eau. (Abdelghani and Abdelaali, 2016)

a) Le sulfate d'Aluminium : Commercialisé sous la forme solide $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.

b) Le chlorure ferrique : Ce sel se trouve sous forme $FeCl_3 \cdot 6H_2O$.

c) Les polymères d'Aluminium : La formule générale de ces produits $Al_n(OH)_m Cl_{3m-n}$.

I.4.2. La floculation

La floculation est le processus d'agrégation des particules déstabilisées, où celles-ci entrent en collision les unes avec les autres, ce qui entraîne leur croissance en taille et leur diminution en nombre dans la solution. Avant la floculation, plusieurs étapes préliminaires sont nécessaires, telles que la coagulation, les oxydations chimiques ou biologiques qui éliminent les "colloïdes protégés", les modifications des conditions générales comme le pH et la température, ainsi que l'utilisation de réactifs auxiliaires tels que les adjuvants de floculation. La coagulation demeure l'étape préparatoire la plus importante pour la floculation. (Abdelghani and Abdelaali, 2016)

❖ Les différents types de floculants

Les adjuvants de floculation, également appelés floculants, sont des substances utilisées en quantités moindres par rapport aux réactifs coagulants. Leur rôle est de modifier significativement le comportement de ces derniers en ce qui concerne différents aspects de la floculation. Ils influencent la vitesse de formation des floes, leur taille, leur densité, leur vitesse de sédimentation et leur comportement ultérieur dans les filtres.

En utilisant des adjuvants de floculation, on peut obtenir des améliorations dans le processus de floculation en favorisant la formation de floes plus rapides, plus volumineux et plus denses. Cela peut faciliter la séparation des particules en suspension de l'eau traitée et améliorer l'efficacité globale du traitement. (Abdelghani and Abdelaali, 2016)

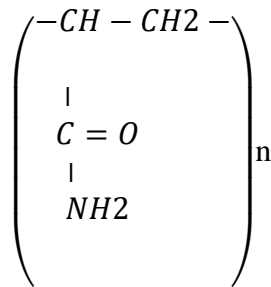
Les poly-électrolytes sont des polymères de poids moléculaire élevé qui sont solubles dans l'eau en raison de leur structure linéaire. Ils possèdent des groupements chimiques fonctionnels, ionisables, répartis de manière périodique le long de leur chaîne. Ces molécules interagissent avec la matière colloïdale présente dans l'eau en neutralisant les charges électriques ou en formant des ponts entre les particules individuelles. Cela favorise la formation de floes insolubles, permettant ainsi une meilleure séparation des particules de l'eau traitée. (Abdelghani and Abdelaali, 2016)

Bien que les poly-électrolytes soient généralement des matériaux organiques synthétiques, il existe également des poly-électrolytes d'origine naturelle. Ces poly-électrolytes naturels proviennent de différentes sources et présentent une variété infinie de structures et de propriétés.

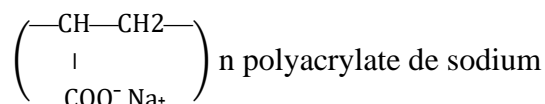
Les poly-électrolytes peuvent différer chimiquement par leur taille moléculaire et le caractère ionique de leurs groupements actifs. Ils peuvent être classés en trois catégories principales :

- a) **Polymères non ioniques** : Les poly-électrolytes non ioniques sont une catégorie spécifique de poly-électrolytes qui ne possèdent pas de groupements ioniques le long de leur chaîne moléculaire. Contrairement aux poly-électrolytes cationiques et anioniques, ils ne portent pas de charges électriques et sont électriquement neutres.

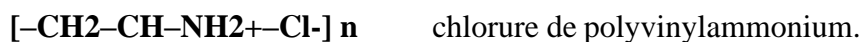
La formule générale du polyacrylamide est :



- b) **Poly-électrolytes anioniques** : Ce sont des poly-électrolytes qui contiennent des groupements ioniques négatifs le long de leur chaîne. Ils peuvent être dérivés de substances telles que l'acide polyacrylique, l'alginate ou le carraghénane.



- c) **Poly-électrolytes cationiques** : Ce sont des poly-électrolytes qui possèdent des groupements ioniques positifs le long de leur chaîne moléculaire. Ils peuvent être dérivés de composés tels que la chitosane, la gomme de guar ou certains dérivés d'amidon.



Il convient de noter que le charbon actif est généralement utilisé comme une étape supplémentaire dans le processus de traitement de l'eau, en complément des autres méthodes telles que la filtration sur charbon actif ou d'autres étapes de clarification. Les doses et les conditions d'injection de charbon actif en suspension doivent être soigneusement déterminées

en fonction des caractéristiques de l'eau à traiter et des objectifs de traitement spécifiques.

L'utilisation du charbon actif dans les stations de traitement des eaux potables est une pratique courante et efficace pour améliorer la qualité de l'eau. Le charbon actif est un matériau poreux avec une grande surface spécifique, ce qui lui permet de piéger et d'adsorber divers contaminants présents dans l'eau.

Lorsqu'il est utilisé dans le traitement de l'eau potable, le charbon actif peut aider à éliminer les substances organiques dissoutes, les produits chimiques, les pesticides, les produits pharmaceutiques, les goûts et les odeurs indésirables. Il peut également réduire la concentration de métaux lourds tels que le plomb, le mercure et l'arsenic.

Le charbon actif est généralement utilisé dans les stations de traitement des eaux potables sous forme de filtres à charbon actif granulaire ou de colonnes remplies de charbon actif en poudre. Il est possible aussi d'injecter le charbon actif sous forme d'une solution dans les systèmes de traitement de l'eau. Dans ce processus, une solution de charbon actif est préparée en mélangeant du charbon actif en poudre avec de l'eau. Cette solution est ensuite injectée directement dans le flux d'eau à traiter, généralement à l'aide de pompes ou d'injecteurs spécifiques.

L'injection d'une solution de charbon actif peut être effectuée à différentes étapes de la station de traitement de l'eau, en fonction des objectifs spécifiques de traitement.

I.5. Décantation ou Flottation

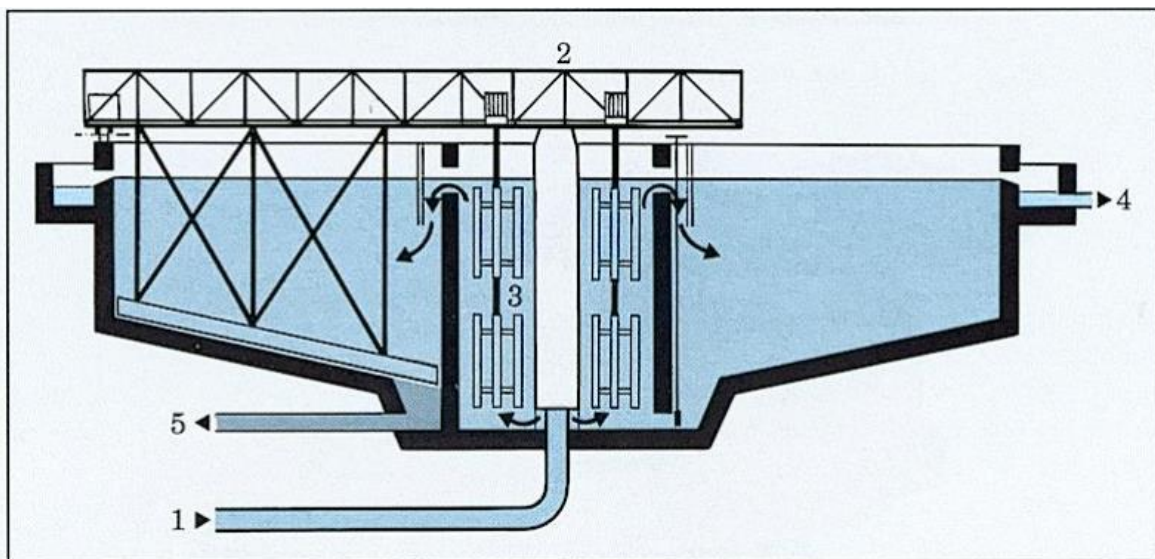
Après le processus de coagulation-floculation, des procédés physiques sont mis en œuvre pour la séparation des particules. L'eau traitée, contenant les floccs formés, est introduite dans un décanteur (figure I.6) où la vitesse d'écoulement est réduite afin d'éviter les turbulences. Au sein du décanteur, les floccs se déposent au fond de l'ouvrage, tandis que l'eau clarifiée est récupérée à la surface. Ce procédé permet ainsi d'obtenir une séparation efficace des particules et une récupération de l'eau clarifiée pour les étapes ultérieures. (Abdelghani and Abdelaali, 2016)

Selon le tableau I.1, qui présente le temps de décantation des particules en fonction de leur dimension, de leur densité et de la température de l'eau (15°C), on peut remarquer que les particules plus petites ont un temps de chute plus long, même lorsque leur densité est identique. Cela signifie que les particules de plus petite taille mettent plus de temps à se déposer par rapport aux particules de plus grande taille, tout en ayant la même densité. La température de l'eau peut également influencer le processus de décantation, mais pour les valeurs indiquées dans le tableau (15°C), seule l'influence de la taille des particules et de leur densité est mise en évidence.

Tableau I.1 : Le temps de décantation de différentes particules

(Abdelghani and Abdelaali, 2016)

Type de particules	Diamètre en mm	Temps de chute		
		Densité de 2.65	Densité de 2.0	Densité de 1.1
Gravier	10	0.013 s	0.02 s	0.20 s
Sable grossier	1	1.27 s	2.09 s	20.0 s
Sable fin	0.1	2.11 s	3.48 m	34.83 m
Glaise	0.01	3.52 s	5.80 h	2.42 j
Bactéries	0.001	14.65 j	24.19 j	241.9 j
Colloïdales	0.0001	4.12 a	6.66 a	66.59 a
Colloïdales	0.00001	412.2 a	665.9 a	6659 a
Colloïdales	0.000001	41222.7 a	66590 a	665990 a



1 - Arrivée d'eau brute
 3 - Zone de flocculation.
 5 - Évacuation des boues.

2 - Pont racleur.
 4 - Sortie d'eau décantée.

Figure I.6 : Le Décanteur.

La flottation, contrairement à la décantation, vise à favoriser la clarification en entraînant les particules en suspension vers la surface de l'eau. Ce processus est réalisé en générant des bulles d'air qui s'attachent aux matières en suspension et aux floccs présents dans l'eau traitée. Les particules ainsi agglomérées avec les bulles d'air remontent jusqu'à la surface. Pour collecter ces particules flottantes, un bras racleur est utilisé pour les rassembler et les récupérer efficacement en surface. La flottation permet donc une séparation des particules en les faisant remonter et en les collectant par le bras racleur, ce qui contribue à une clarification de l'eau traitée. (Abdelghani and Abdelaali, 2016)

- ❖ **Différents types de décanteurs** : Les décanteurs peuvent être classés en différents types en fonction de leurs principes de fonctionnement (tableau I. 2).

Tableau I.2 : Différents types de décanteurs (Abdelghani and Abdelaali, 2016)

Différents types de décanteurs			
Types de décanteurs	Exemple de décanteur	Principe de fonctionnement	Principales caractéristiques
Décanteurs statiques A flux vertical	Cylindro-conique	Il est basé sur la création d'un lit de boues. Ce dernier favorise la floculation et joue le rôle de filtre. Pour maintenir sa voile de boue en équilibre, on utilise des ouvrages à section non constante	On le trouve généralement à des installations fonctionnant à faible débit. Il n'est pas très performant en ce qui concerne les vitesses ascensionnelles atteintes, les faibles concentrations en boues et la qualité de l'eau clarifiée
Décanteur statique A flux horizontal	Longitudinal	L'eau est introduite dans l'ouvrage horizontalement	C'est un ouvrage relativement ancien. Occupant généralement une surface très étendue. Il constitue la majorité des décanteurs statiques. L'extraction automatique des boues est difficile
Décanteurs à voile de boues A lits de boues	Pulsator	Il repose sur le maintien, par des chasses d'eau, d'un lit de boue en suspension pour favoriser la floculation.	Il est très faible, souple d'emploi. La haute concentration du lit de boue, son rôle tampon retardent les effets qui incombent à un mauvais ajustement du taux de coagulant ou floculant, une variation du pH de l'eau brute
Décanteurs à voile de boues A recirculation de boue *par hydro éjecteur *turbine *hélice *pompe à émulsion	Circulator Accelator Tuebocirculator Claricontact	Le rôle de cette recirculation est d'accroître la masse de contact au sein du décanteur : la probabilité de chocs entre particule augmente ce qui permet de diminuer le temps nécessaire à la floculation	Compare aux décanteurs statiques, ils autorisent des vitesses ascensionnelles supérieures et assurent un meilleur épaissement des boues. Cette recirculation des boues rend plus performante la floculation (durée efficace).
Décanteurs à floccs lest	Cyclofloc	L'idée a été d'alourdir le floc, par recirculation de micro sable pour accroître sa vitesse de sédimentation.	La présence en recirculation d'une quantité suffisante de micro sable peut permettre de faire face à toute variation brutale de la qualité de l'eau brute.

Décanteurs Lamellaires *Co-courant *contre-courant *alimentation latérale	Claribloc	Des lamelles, inclinées à 550 -600 par rapport à l'horizontale, augmentent la surface de décantation et favorisent l'évacuation et la concentration des boues	L'implantation des lamelles permet d'augmenter la capacité des ouvrages, les débits d'alimentation, tout en améliorant la qualité de l'eau clarifiée
Décanteurs combinés Lit de boues + lamelles	Le pulstube	Le fonctionnement de ce décanteur est semblable à celui de PULSATOR sauf qu'il possède des lamelles dans la zone de clarification	Ces lamelles permettent de limiter l'expansion de lit de boue tout en améliorant la qualité de l'eau décantée.
	Superpulsator	Les lamelles ne sont pas disposées au-dessus du voile de boue pour améliorer le pouvoir de séparation de l'ensemble mais dans le voile de boue lui-même ce qui permet d'en améliorer la stabilité et d'en augmenter la concentration.	Le lit de boue étant très concentré, il agit comme un filtre à impuretés.
Décanteurs combinés Recirculation de boues+ Lamelles	Sedipac-rps	Dans ces décanteurs on combine les procédés de recirculation des boues aux lamelles	Ce procédé permet une floculation rapide et une bonne qualité de l'eau clarifiée. Il permet d'atteindre des vitesses exceptionnelles et des concentrations en boues importantes.
Décanteurs combinés Recirculation de sable+ Lamelles	Actiflo	Ce décanteur associe 2 techniques : la floculation lestée éprouvée sur le procédé CYCLOFLOC et la décantation lamellaire.	C'est un appareil très compact (temps de séjour de l'eau =30min) il peut s'adapter aux changements de la qualité de l'eau brute.
	Le fluorapid	C'est un appareil original car il utilise propriétés du microsable mais mis en œuvre cette fois se forme de lit fluidisé traversé par l'eau de bas en haut et surmonté d'une nappe de modules lamellaires.	C'est un appareil très compact, fonctionnant à des vitesses ascensionnelles élevées. le processus de coagulation, floculation, décantation se déroule en une quinzaine de minutes. Il est aussi caractérisé par sa régularité de fonctionnement, apportée par le pouvoir tampon du microsable.
Décanteurs combinés Recirculation de boues épaissies+ Lamelles	Densadeg	Dans ce cas, ce ne sont plus les boues floculées qui sont recirculées mais les boues épaissies. Elles entraînent une variable densification du floc.	C'est un décanteur très compact, rapide, souple d'emploi. Les boues extraites sont très concentrées, les volumes de boue obtenus sont donc faibles. L'eau décantée est de très grande qualité

I.6. Filtration

La filtration est un processus physique qui vise à retenir les particules en suspension qui n'ont pas été piégées lors des étapes précédentes du traitement de l'eau. Ce processus permet de clarifier davantage l'eau en éliminant les particules fines. La filtration, a pour but d'obtenir une eau plus claire et de meilleure qualité avant sa distribution finale. Elle est réalisée sur matériaux classiques (sable) ou sur membranes.(Abdelghani and Abdelaali, 2016)

La méthode la plus couramment utilisée pour la filtration est la filtration sur lit de sable, également appelée lit filtrant. Dans ce processus, une couche de sable agit comme un média filtrant pour retenir les particules présentes dans l'eau et permettre le passage de l'eau filtrée à travers des crépines vers la bêche d'accumulation (Figure 7).

Le lit filtrant sur sable peut remplir un double rôle en fonction des conditions d'exploitation. Tout d'abord, il agit comme un moyen de filtration physique en retenant les matières en suspension par le processus de filtration. Les particules plus grosses sont piégées dans le sable tandis que l'eau passe à travers, ce qui permet de clarifier l'eau et d'éliminer une partie des impuretés.

En outre, le lit de sable peut également servir de support bactérien pour favoriser un traitement biologique de l'eau. Les bactéries se développent sur le sable et utilisent les matières organiques, l'ammoniac, le fer et le manganèse présents dans l'eau comme source de nourriture. Ce processus biologique contribue à la dégradation de ces substances indésirables, améliorant ainsi la qualité de l'eau traitée.

Il existe plusieurs types de filtres à sable utilisés dans les stations de traitement d'eau potable. Voici quelques un :

1. Filtre à lit fluidisé : Ce type de filtre utilise un lit de sable fluide soutenu par un débit d'eau ascendant. L'eau traverse le lit de sable fluidisé, ce qui permet une meilleure rétention des particules et une plus grande efficacité de filtration.
2. Filtre à sable à gravité : Dans ce type de filtre, l'eau passe à travers un lit de sable grâce à la force de gravité. Il peut être utilisé dans les systèmes de traitement d'eau potable à faible pression.

3. Filtre à sable pressurisé : Ce filtre fonctionne à l'aide d'une pompe qui applique une pression sur l'eau pour la faire passer à travers le lit de sable. Il est utilisé lorsque la pression est nécessaire pour propulser l'eau à travers le filtre (voir figure I.8).

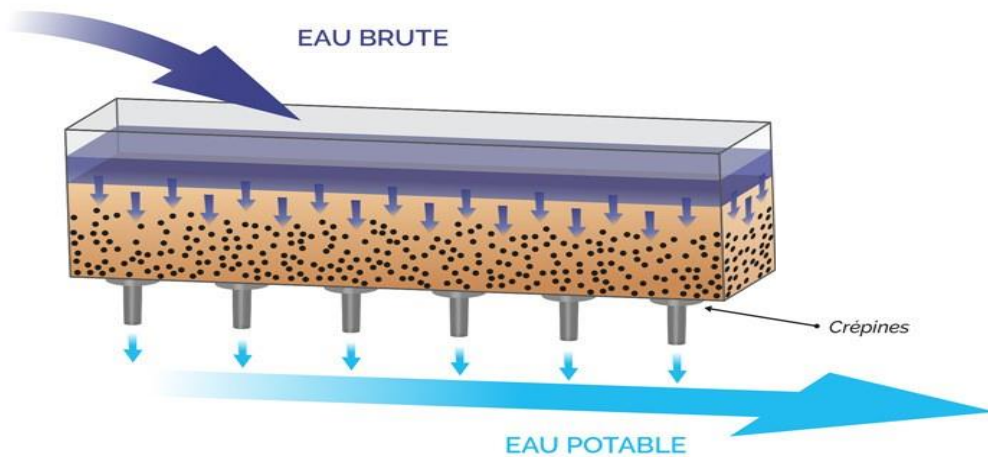


Figure I.7 : Filtre à sable.

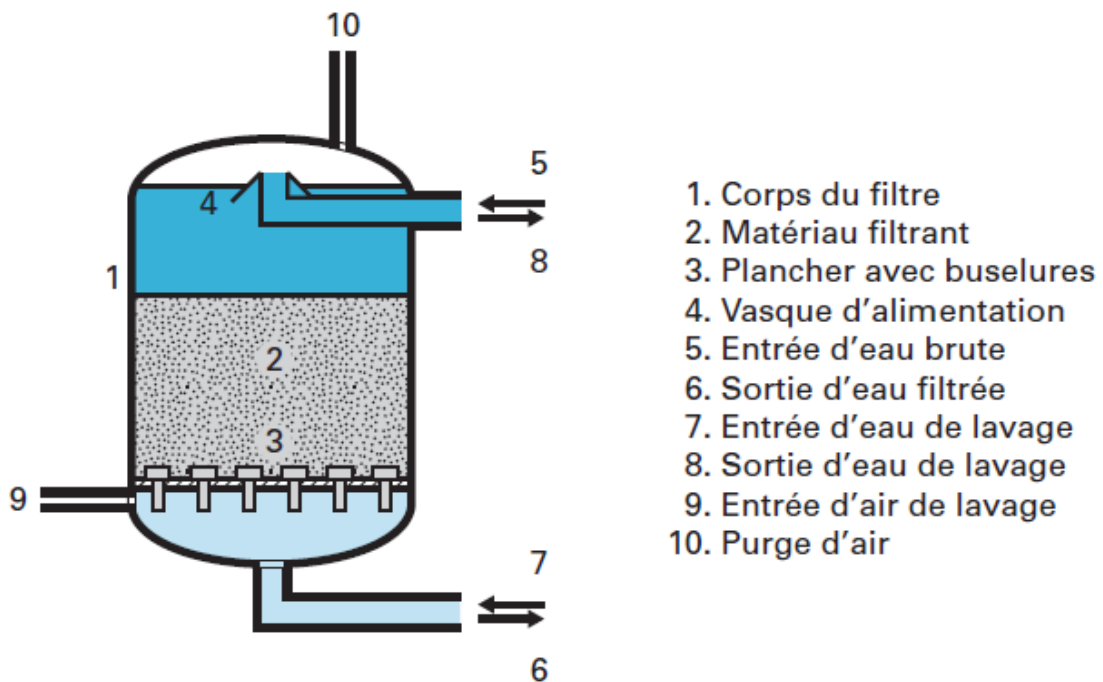


Figure I.8 : Filtre à sable pressurisé.

Ces différents types de filtres à sable peuvent être adaptés en fonction des besoins spécifiques de la station de traitement d'eau potable et des caractéristiques de l'eau à traiter. Il est important de considérer les facteurs tels que le débit, la qualité de l'eau brute et les exigences de qualité de l'eau traitée lors du choix du type de filtre à sable approprié.

La filtration sur lit de sable est une méthode largement utilisée en raison de sa simplicité, de son efficacité et de son coût relativement bas. Elle offre à la fois une filtration physique efficace et une possibilité de traitement biologique supplémentaire. Cependant, il est important de maintenir le lit de sable propre et de surveiller son efficacité pour assurer un fonctionnement optimal du système de filtration.(Abdelghani and Abdelaali, 2016)

Le filtre à sable nécessite un nettoyage régulier pour éliminer les matières accumulées entre les grains de sable, ce qui peut ralentir le passage de l'eau à travers le lit filtrant. Cette opération de nettoyage, appelée rétro-lavage, permet de restaurer l'efficacité de filtration du filtre à sable en éliminant les impuretés retenues. (Abdelghani and Abdelaali, 2016)

La filtration sur lit de sable est un choix privilégié en raison de son efficacité, de sa simplicité et de son coût relativement faible, ce qui en fait une solution adaptée pour le traitement des énormes volumes d'eau qui nécessitent d'être filtrés.

La filtration sur membranes (microfiltration notamment) (voir figure I.9) est de plus en plus fréquemment utilisée, mais elle reste encore onéreuse. Elle est fondée sur l'utilisation de membranes de faible épaisseur, comportant des pores réguliers de très petites dimensions. Ces membranes, sortes de barrières physiques, peuvent être d'origine organique ou minérale.(Houda and Karam, 2012)



Figure I.9 : Filtre à membranes.

I.7. Désinfection

C'est la dernière étape de traitement des eaux potables, c'est un processus essentiel pour éliminer les micro-organismes et les agents pathogènes présents dans l'eau qui est passé dans les opérations précédentes.

Différents agents désinfectants peuvent être utilisés, tels que le chlore, l'ozone ou les ultraviolets.

Le chlore est l'un des désinfectants les plus couramment utilisés. Il peut être ajouté à l'eau sous forme de chlore gazeux, d'hypochlorite de sodium ou d'hypochlorite de calcium. Le chlore réagit avec les micro-organismes présents dans l'eau, détruisant leur structure cellulaire et les rendant inactifs. Une petite quantité de chlore résiduel est généralement maintenue dans l'eau après la désinfection pour prévenir la recontamination bactérienne dans le réseau de distribution.

L'ozone est un autre agent désinfectant puissant utilisé dans le traitement de l'eau. L'ozone est généré à partir de l'oxygène et est un oxydant très réactif. Il détruit les micro-organismes en réagissant avec leurs constituants cellulaires. L'ozone présente l'avantage de ne pas laisser de résidus chimiques dans l'eau traitée, mais il doit être généré sur place car il est instable et se décompose rapidement.

Les ultraviolets (UV) sont également utilisés pour la désinfection de l'eau. Les rayons UV de courte longueur d'onde endommagent l'ADN des micro-organismes, ce qui les empêche de se reproduire. Les systèmes d'UV sont efficaces contre un large éventail de micro-organismes, y

compris les bactéries, les virus et les protozoaires. Cependant, ils ne laissent pas de résidus chimiques dans l'eau traitée.

L'utilisation de l'un de ces agents désinfectants permet de garantir que les bactéries et les virus pathogènes présents dans l'eau sont éliminés, assurant ainsi la sécurité sanitaire de l'eau potable.

I.8. Conclusion

Notre premier chapitre a vu une introduction au travail lié à notre étude. Nous avons essayé de donner tous les processus sur lesquels repose l'eau afin de la traiter dans la station de traitement depuis l'élimination des matières organiques et en suspension, des bactéries et des substances nocives. Qui à leur tour nous donnent des résultats indésirables, et nous avons détaillé plus particulièrement, les procédés de coagulation floculation, décantation et de filtration, Ce qui est lié à notre étude dans ce travail.

CHAPITRE II
PRESENTATION DE LA ZONE
D'ETUDE

II.1 Introduction :

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude, station de traitement de Hammam Debaghe de la Wilaya de Guelma. En fait, nous avons effectué un stage de fin d'études au sein de la station, elle est située à 20 kilomètres à l'Ouest de la ville de Guelma. La station de Hammam Debaghe est destinée principalement à l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma et les communes en voisinage de chemins de la conduite d'alimentation (Hmamme Debaghe, Mdjaze ammar), depuis la station jusqu' à son arrivée à la ville de Guelma, et les communes d'Aine Hssaynia, Ben Djerahe et prochainement la région d'Oued Znati.

Au cours de nos visites, nous avons pu recenser les données nécessaires pour notre travail malgré les difficultés rencontrées.

II.2 Situation géographique

La wilaya de Guelma se situe au Nord-Est de l'Algérie, à une distance d'environ 60 km de la Méditerranée. Elle partage ses frontières avec plusieurs wilayas voisines : au Nord se trouve la wilaya d'Annaba, au Nord-Ouest se trouve la wilaya de Skikda, au Nord-Est se trouve la wilaya d'El Tarf, à l'Ouest se trouve la wilaya de Constantine, et au Sud-Est se trouvent les wilayas de Souk Ahras et d'Oum El Bouaghui. La superficie totale de la wilaya de Guelma s'étend sur 4101 km². (D.P.A.T, 2015)

La zone d'étude se trouve dans la plaine de Guelma, qui est délimitée par des caractéristiques naturelles distinctes. Au Nord de la plaine se trouvent les monts de Houara, dont le point culminant atteint 932 mètres. Au Nord-Ouest, on trouve le Djebel Debar, qui s'élève à 1408 mètres. À l'Est de la plaine, se situe la chaîne de Beni-Mezline et Beni Salah. Ces éléments naturels délimitent les frontières de la plaine de Guelma et contribuent à son environnement géographique.

II.3 Localisation et objectif de la station**II.3.1 Localisation**

La station de traitement étudiée est la station de production d'eau potable d'Hammam Debagh (Figure II.1), située dans la wilaya de Guelma à 20 km de chef-lieu de la wilaya.

Le site de la station de traitement des eaux se trouve à 40 m de la rive droite de l'Oued Bouhamdane, à environ 2 km au Nord-Ouest du chef-lieu de la commune de Hammam Debaghe et à 1 km du barrage Bouhamdane (Figure II.1), qui alimente la station.

La station est délimitée de la manière suivante :

- Au Nord, elle est limitée par Oued Bouhamdane.
- Au Sud, elle est limitée par l'administration de l'ANBT.
- À l'Est, elle est limitée par le terrain communale de football.
- À l'Ouest, elle est limitée par le barrage de Hammam Debagh.



Figure.II.1 : Station de traitement eaux potables de Hammam Debaghe-Guelma (Google earth).

Implanté à 1 km en amont de la station, le barrage de Bouhamdane (Figure II.2) qui a une superficie de 13.000 ha et une capacité théorique de 220 millions de m³, est destiné à deux principales utilisations : l'irrigation du périmètre de Guelma-Boucheougouf et l'alimentation en eau de la ville de Guelma ainsi que les communes de Hmamme Debaghe, Aine Hssaynia, Mdjaze ammar, Ben Djerahe et prochainement la région d'Oued znati de la wilaya. Il est construit sous la forme d'une digue en terre, avec un noyau argileux vertical. Une tour de prise est située sur la rive gauche du barrage et comporte trois prises d'eau à différents niveaux : haute, moyenne et basse.

Le bassin versant du barrage s'étend sur une superficie de 1070 km², représentant la zone de collecte des eaux de surface telles que les précipitations et les rivières qui se dirigent vers le barrage. Ainsi, le barrage permet de stocker l'eau nécessaire à l'irrigation des terres agricoles et à l'approvisionnement en eau potable de la région de Guelma, incluant la ville et les différentes communes de la wilaya. (Bouchemal and Hammoudi, 2016)



Figure II.2 : Barrage Bouhamdane.

II.3.1 Objectif de station de traitement de Hammam Debaghe

La station de traitement de Hammam Debagh contient deux chaînes de production, la première chaîne a été mise en service en 2003 et la deuxième en 2018, chaque chaîne a une capacité de 500 l/s et destinée principalement à l'alimentation en eaux potables à la commune de Guelma, Hammam Debaghe, Aine Hssaynia, Mdjaze ammar, Ben Djerahe et prochainement la région d'Oued Znati.

II.4 Géomorphologie et réseau hydrographique

La région de Guelma est un ancien bassin d'effondrement qui s'est formé il y a longtemps et qui a été isolé pendant une période prolongée. Pendant cette période, une variété de sédiments se sont accumulés, allant du miocène au quaternaire. Les mouvements tectoniques qui ont eu lieu pendant le plio-quaternaire ont joué un rôle important dans la formation de la morphologie de

la région. Ces mouvements ont entraîné de petits soulèvements, donnant lieu à la formation de terrasses et de cônes de déjection. L'extension de ces terrasses fluviales et leur discontinuité le long de la rivière Seybouse témoignent de la complexité morphologique du bassin.

D'un point de vue morphométrique, la région étudiée se compose d'une plaine de faible altitude, avec une altitude d'environ 150 m à l'Est et 300 m à l'Ouest.(Djabri 1996)

Le réseau hydrographique de la région (Figure II.3) est extrêmement dense, principalement dominé par l'Oued Seybouse, qui s'étend sur une distance de 57,15 km. Parmi ses principaux affluents, on compte l'Oued Bouhamdane (45,37 km), dont le flux s'écoule généralement d'ouest en est, et l'Oued Cherf (36,46 m), qui draine du sud vers le nord. On trouve également d'autres cours d'eau tels que l'Oued Zimba, l'Oued Maiz, l'Oued Skhoune, l'Oued Boussora, l'Oued Halia et l'Oued Melah. Au niveau de la station de Medjez Amar, où se trouve la confluence et la source de l'Oued Seybouse, l'Oued Bouhamdane et l'Oued Cherf drainent respectivement des sous-bassins d'une superficie de 1105 km² et 2845 km². (A.B.H-C.S.M,2005)

Le tracé du réseau hydrographique est largement influencé par les axes des principaux plissements qui se trouvent dans les couches marneuses facilement érodables. En parallèle, certains affluents suivent le tracé des failles qui affectent les formations mio-pliocènes. (Djabri 1996)

La région est caractérisée par un relief montagneux dominant qui entoure trois dépressions significatives : la dépression de Tamlouka au sud, la dépression de Guelma au centre et la dépression de Bouchegouf au nord-est (Figure II.4). (Benmarce k, 2007)

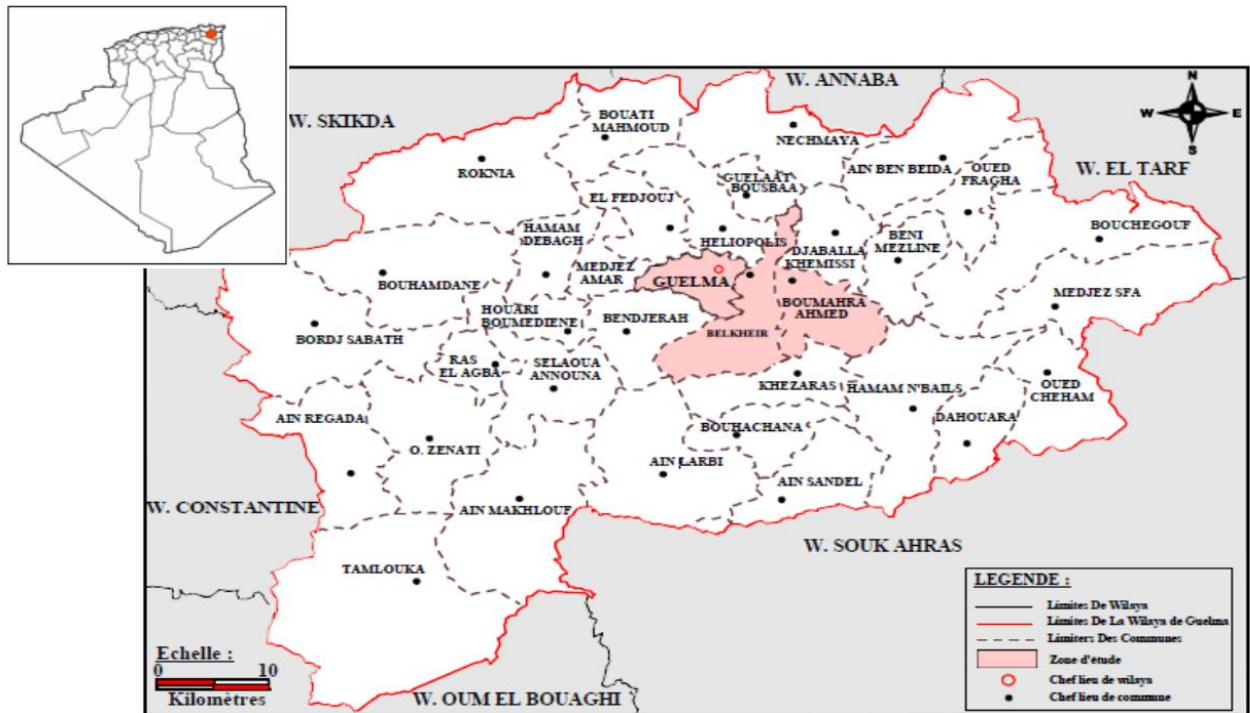


Figure II.3 : Carte de situation géographique de la zone d'étude (DPAT)

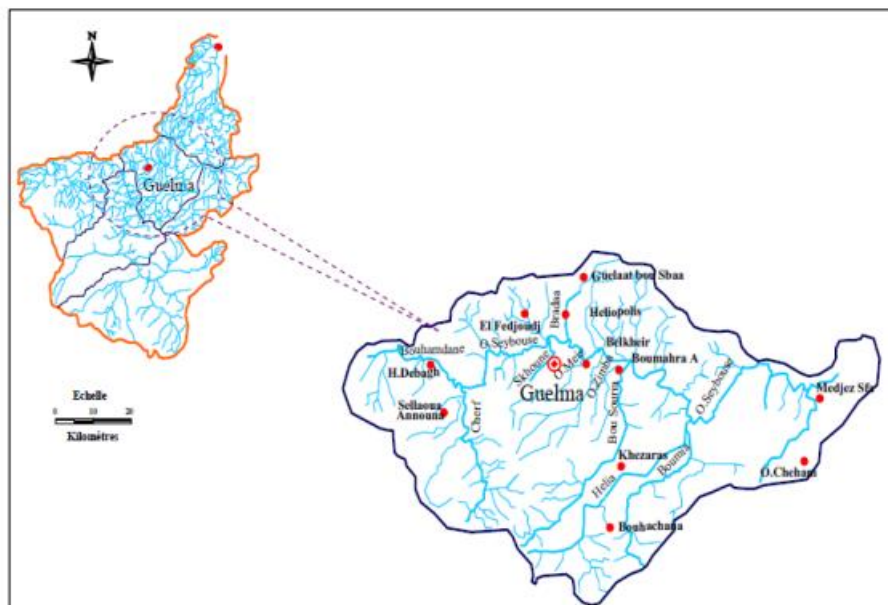


Figure II.4 : Réseau hydrographique (A.B.H-C.S.M,2005)

II.5 Cadre géologique

La géologie de la région de Guelma présente une grande diversité lithologique, avec des formations s'étendant du Quaternaire au Trias. Les principales formations géologiques comprennent les alluvions (sable, gravier, cailloutis, etc.), les grès, les marnes, les argiles, les flysch et les calcaires. La dépression qui constitue le réservoir aquifère de la vallée de Guelma

est remplie par des alluvions datant du Plio-quaternaire. Ce remplissage forme l'ancienne et la nouvelle terrasse de la vallée de la Seybouse (Figure II.5). (E.NA.GEO 1971) (Khadri 2004) (Kirati and Brahmia 2006)

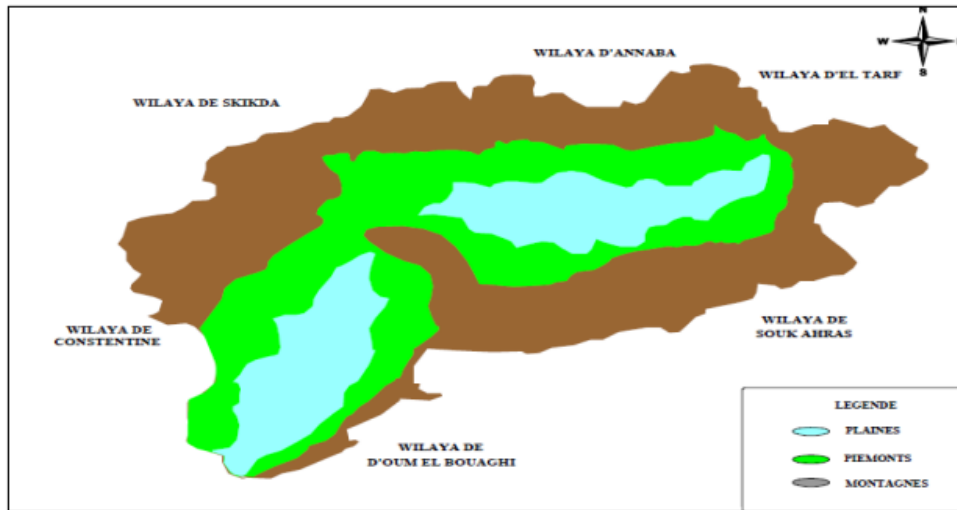


Figure II.5 : Géomorphologie de la région de Guelma. (Benmarce k, 2007)

II.6 Cadre hydrogéologique

Les eaux souterraines jouent un rôle essentiel dans le patrimoine hydraulique de la région de Guelma. Les études géophysiques ont identifié six aquifères majeurs dans le système hydrogéologique de la région. (C.R.A.A.G, 2004)

- Nappe alluvionnaire de Guelma (située dans la zone d'étude) ;
- Nappe alluvionnaire de Bouchegouf ;
- Nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis ;
- Nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba- Sellaoua-Announa ;
- Nappe des calcaires de Bouhechena ;
- Nappe des calcaires de Tamlouka. (Franck Rejsek) (Algéo, 1997) (Jora, 2000)

II.7 Aspects sociaux économiques

La région de Guelma est réputée pour son activité agricole, avec des cultures de céréales, de tomates, de pommes de terre et d'agrumes. L'élevage de bétail et de volailles y est également important. Parallèlement, l'activité industrielle joue un rôle significatif dans la région. Plusieurs unités industrielles ont été implantées, notamment une sucrerie, une unité de céramique, une

usine de fabrication de cycles et cyclomoteurs, une laiterie (Guelmoise), une unité de fabrication de pâtes et une conserverie de tomates industrielle (CAB Amor Benamor). De plus, la région compte un certain nombre de mines et de carrières, notamment une mine de kaolin sur le mont Debagh et des carrières de marbre utilisées par l'unité de l'ENAMARBRE à Boumahra Ahmed. (Djabri 1996) (Khadri 2004) (Kirati and Brahmia 2006)

II.8 Etude climatologique

Les facteurs climatiques jouent un rôle crucial dans le régime des cours d'eau et l'alimentation des nappes souterraines, en particulier les précipitations. Les précipitations, avec leur répartition annuelle, mensuelle et quotidienne, sont le principal facteur qui influe sur ces ressources en eau. Ces caractéristiques des précipitations sont également influencées par d'autres paramètres physiques tels que l'altitude et l'exposition, ainsi que des facteurs climatiques tels que la température et l'évapotranspiration. La combinaison de ces différents aspects des précipitations, modifiés par d'autres variables physiques et climatiques, permet d'expliquer de manière quantitative les variations des différentes composantes du régime hydrologique dans la région d'étude. (Soltner 1999)

II.8.1 Température

La température est un facteur climatique crucial qui influence la distribution de l'eau par le processus d'évapotranspiration. Elle est affectée par des éléments tels que l'obscurité, l'altitude, l'exposition, la présence de masses d'eau importantes (comme les mers et les lacs qui régulent les températures), le type de sol et la végétation environnante (qui atténue les variations de température). L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles revêt une importance primordiale, car elle permet d'évaluer les déficits d'écoulement annuels et saisonniers. Ces données sont essentielles pour comprendre le régime hydrologique de la région. (Emsalem 1986)

A Guelma la saison très chaude dure 03 mois, de la mi-juin au mi- Septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 31 °C. Le mois le plus chaud de l'année à Guelma est Août, avec une température moyenne maximale de 34 °C et minimale de 20 °C. (site web weatherspark)

La saison fraîche dure 4,0 mois, du 23 Novembre au 23 Mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 19 °C. Le mois le plus froid de l'année à Guelma est Janvier, avec une température moyenne minimale de 4 °C et maximale de 15 °C.

- La plus haute température enregistrée à Guelma dans l'année 2022 fut de **46°C** le 17 Août.
- La plus basse température enregistrée à Guelma dans l'année 2022 fut de **-1.6°C** le 29 Janvier.

Tableau II.1 : température moyenne, max moyenne et min moyenne de l'année 2022 à Guelma

Données	Valeur
Température moyenne annuelle :	21.4°C
Température maximale moyenne annuelle :	27.1°C
Température minimale moyenne annuelle :	12.3°C

II.8.2 Précipitation

Les précipitations sont largement reconnues comme l'un des facteurs fondamentaux qui influencent le climat. Le terme "précipitation" englobe toutes les formes d'eau qui tombent du ciel, telles que la pluie, la neige, la grêle et autres.

Les précipitations sont mesurées généralement à l'aide d'un pluviomètre, qui permet de quantifier l'épaisseur de la couche d'eau accumulée sur une surface horizontale. Cette mesure donne une indication de la quantité d'eau tombée et disponible, en supposant qu'il n'y ait ni écoulement ni évaporation. La mesure des précipitations est essentielle pour comprendre les variations climatiques, évaluer les ressources en eau, prédire les phénomènes météorologiques et étudier les écosystèmes. (Mouassa 2006)

La probabilité de jours de précipitation à Guelma varie au cours de l'année. La saison connaissant le plus de précipitation dure 8,9 mois, du 1 septembre au 29 mai, avec une probabilité de précipitation quotidienne supérieure à 18 %. Le mois ayant le plus grand nombre de jours de précipitation à Guelma est février, avec une moyenne de 8,1 jours ayant au moins 1 millimètre de précipitation.

La saison la plus sèche dure 3,1 mois, du 29 mai au 1 septembre. Le moins ayant le moins de jours de précipitation à Guelma est juillet, avec une moyenne de 1,8 jour ayant au moins 1 millimètre de précipitation.

Pour les jours de précipitation, nous distinguons les jours avec pluie seulement, neige seulement ou un mélange des deux. En fonction de ce classement, la forme de précipitation la plus courante au cours de l'année est de la pluie seulement, avec une probabilité culminant à 30 % le 3 février.

Précipitation totale annuelle (2022) : 339.37 mm

II.8.3 L'humidité

Guelma connaît des variations saisonnières modérées en ce qui concerne l'humidité perçue. La période la plus lourde de l'année dure 3 mois et demi, du 22 juin au 1 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 5 % du temps. Le mois ayant le plus grand nombre de jours lourds à Guelma est août, avec 6,1 jours lourds ou plus accablants.

Le jour le moins lourd de l'année est le 11 février, avec un climat lourd quasiment inexistant.

II.8.4 Le vent

La vitesse horaire moyenne du vent à Guelma connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année.

La période la plus venteuse de l'année dure 6,0 mois, du 1 novembre au 2 mai, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 12,6 kilomètres par heure. Le mois le plus venteux de l'année à Guelma est décembre, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 14,2 kilomètres par heure.

La période la plus calme de l'année dure 6,0 mois, du 2 mai au 1 novembre. Le mois le plus calme de l'année à Guelma est août, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 10,8 kilomètres par heure

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons délimiter la zone d'étude, son objectif ainsi que sa position géographique, sont cadre géologique, cadre hydrographique, Aspects sociaux économiques et la climatologie.

CHAPITRE III
DESCRIPTION
&
DIAGNOSTIC
DE LA STATION
DE TRAITEMENT

III.1 Introduction

L'accès à une eau potable de qualité est essentiel pour assurer la santé et le bien-être de la population. Dans cette optique, la station de traitement des eaux potables de Hammam Debagh joue un rôle crucial et responsable en assurant la purification et la distribution d'une eau sûre et saine.

Ce chapitre nous permettra de poser les bases solides pour notre recherche en fournissant un diagnostic détaillé, une description complète et un dimensionnement adéquat de la station des deux chaînes de production de la station de traitement des eaux potables de Hammam Debagh. Grâce à ces informations, nous serons en mesure de proposer des solutions appropriées aux problèmes identifiés lors de notre stage, dans le but d'optimiser le fonctionnement de la station et d'assurer la fourniture d'une eau potable de qualité aux habitants de la région.

III.2 Description de la station de traitement d'eau potable Hammam de Debagh-Guelma

III.2.1 Origine de l'eau brute

L'eau brute captée du barrage de Bouhamdene doit passer par la prise d'eau afin que le débit soit régulé entre 1800 et 2000 m³/h selon la turbidité, d'où les gros déchets sont maintenus à travers trois (3) grilles automatiques. La prise d'eau se compose d'un régulateur de débit à 300 tr/min et d'un trou d'homme pour arrêter le débit d'eau pendant le nettoyage et les pannes de courant. (Bouchemal and Hammoudi, 2016)

III.2.1.1 La première chaîne de production (ancienne station)

A l'entrée de la première chaîne de production, l'eau brute est passée dans une conduite en acier de DN 700 mm de diamètre vers le bassin de mélange. Elle est équipée de :

- ❖ Un clapet anti-retour.
- ❖ Une vanne de régulation du débit.
- ❖ Un manomètre et un réducteur de pression.(Bouchemal and Hammoudi, 2016)

III.2.1.2 La deuxième chaîne de production (Extension)

A l'entrée de la deuxième chaîne de production, l'eau brute est passée dans une conduite en acier de diamètre DN 800 mm, et acheminée vers les cascades d'aération.

Le débit entrant à la station aura régulé une vanne motorisée type papillon, pour stabiliser la pression, ayant les deux fonctions amont et aval placées sur la tuyauterie d'arrivée du regard de vanne. La mesure de débit d'eau brute sera réalisée par un débitmètre électromagnétique.

III.2.2 Les ouvrages existants

III.2.2.1 Bassins de mélanges

III.2.2.1.1 La première chaine de production (ancienne station)

Le bassin de mélange est de type rectangulaire dont les dimensions sont (21.50 m X 9.20 m) avec une profondeur de 5 m. Il est divisé en trois (3) sous bassins (Figure III.2) ;

a) Sous- bassin de pré-chloration et oxydation :

La première partie du bassin de mélange contient le sous bassin de pré-chloration (Figure III.1). Dans ce sous bassin ce fait l'injection de l'hypochlorite de sodium (NaClO) pour garantir la face de pré-chloration et oxydation.



Figure III.1 : Sous bassin de pré-chloration et oxydation 1^{ère} chaine de production

b) Bassin de coagulation :

Le bassin de coagulation de cette chaine a une forme rectangulaire, équipé d'un mélangeur rapide, dans lequel est injecté le sulfate d'alumine ($\text{AL}_2(\text{SO}_4)$).

Le bassin est dimensionné sur la base d'un débit de 2000 m³/h, et une vitesse de 216.22 m/h.

Les dimensions de cet ouvrage sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Dimension de bassin de coagulation 1^{er} chaine de production (ZAOUI and GHAOUI 2013)

Le temps de contact	1.11 min
La capacité (volume) du bassin de coagulation	37 m ³
La surface du bassin de coagulation	9.25 m ²
Longueur du bassin	3.7 m
Largeur du bassin	2.5 m
La hauteur du bassin	5 m

c) Bassin de floculation

Le bassin de floculation de la station a une forme rectangulaire, équipé d'un deux mélangeurs lents, dans lequel est injecté le polymère.

Le bassin est dimensionné sur la base d'un débit de 2000 m³/h, et une vitesse de 15.63 m/h.

Les dimensions de cet ouvrage sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Dimension de bassin de floculation 1^{ère} chaine de production (ZAOUI and GHAOUI 2013)

Le temps de contact	19.05 min
La capacité (volume) du bassin de coagulation	635 m ³
La surface du bassin de coagulation	128.02 m ²
Longueur du bassin	16 m
Largeur du bassin	8 m
La hauteur du bassin	5 m



Figure III.2 : Bassin de mélange 1^{ère} chaîne de production

A la sortie du bassin de mélange, ce fait aussi l'injection d'une solution de charbon actif comme étape supplémentaire dans le processus, pour améliorer la qualité de l'eau en éliminant divers contaminants organiques et inorganiques, telle que les goûts et les odeurs indésirables.

III.2.2.1.2 La deuxième chaîne de production (Extension)

Dans cette chaîne l'eau brute est à cheminée d'abord vers les ouvrages suivants :

a) Cascade d'aération

Les dimensions de la cascade d'aération de la deuxième chaîne de production sont les suivantes : $B = 0,50 < 0,70$ m (B : La différence entre deux seuils de déversant successifs)

$H = 0,90 \div 1,40 > 2/3 B$ (H : Tirant d'eau dans le bassin) (DRE GUELMA 2015)

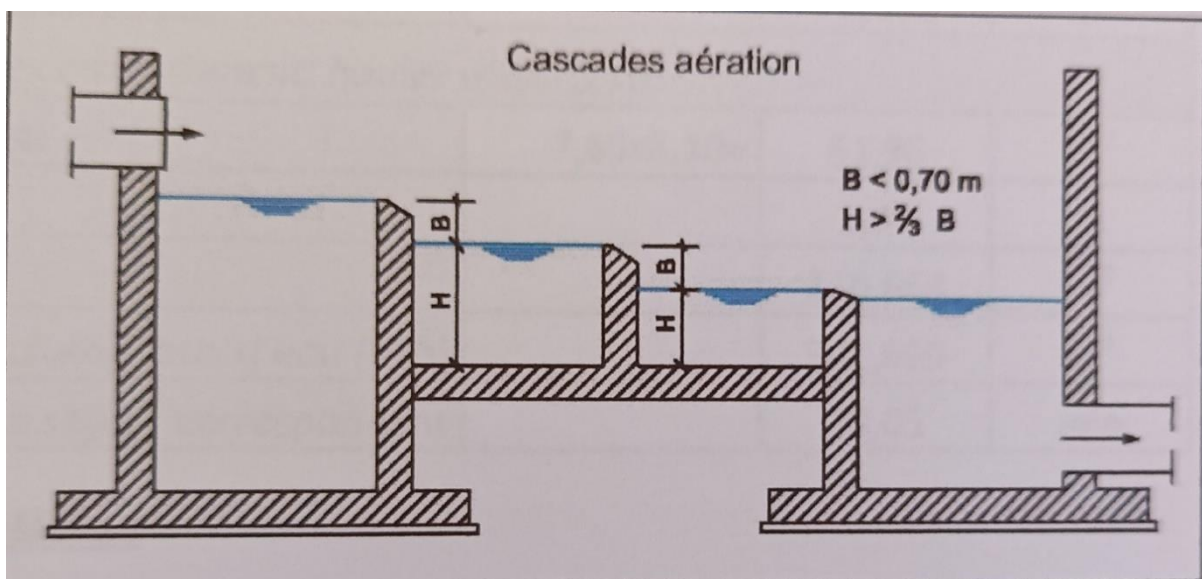


Figure III.3 : Schéma des cascades d'aération (fichier de GC travaux d'extension 2015)



Figure III.4 : Cascades d'aération 2^{ème} chaîne de production.

b) Bassin de correction du PH et de pré-chloration

Dans ce bassin (voir figure III.5) l'eau brute subira la correction du pH par l'injection de l'acide sulfurique (H_2SO_4) à partir du silo des réactifs et un traitement de pré-chloration. La pré-chloration prévue pour une dose maximale de 5 g/m^3 serait réalisée à partir d'une solution d'hypochlorite de sodium ($NaClO$).

La solution d'hypochlorite de sodium, sera véhiculée jusqu'au point d'injection par conduite à partir du silo des réactifs, en s'assurant que les valeurs de la THM (Trihalométhanes) ne soit pas supérieur à 30 g/l . (DRE GUELMA 2015)



Figure III.5 : Bassin de correction du pH et de pré-chloration 2^{ème} chaîne de production.

Le dimensionnement a été réalisé pour assurer un temps de contact ≥ 10 minutes.

Les dimensions du bassin de correction du pH et de pré-chloration sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : les dimensions de bassin de correction du pH et de pré-chloration 2^{ème} chaîne de production (DRE GUELMA 2015)

Description	Symbole	Valeur	Unité
Débit d'eau traite	Q	1800	m ³ /h
Temps de séjour	Ts	$\geq 10,00$	min
Volume bassin	$V = Q * Ts$	300	m ³
Dimensions adoptés			
a) premier compartiment : hauteur d'eau 3,50 m			
Surface horizontale	$7,65 \times 3,40 =$	26,01	m ²
Hauteur d'eau		3,50	m
Volume d'eau		91,035	m ³
b) deuxième compartiment : hauteur d'eau 3,4 m			
Surface horizontale	$7,65 \times 8,10 =$	61,96	m ²
Hauteur d'eau		3,40	m
Volume d'eau		210,664	m ³
Volume total d'eau (a+b)		301,699	m ³
Temps de séjour correspondant		10,05	min

c) Bâche de coagulation

La bâche (Figure III.6) est équipée d'un électro-agitateur qui assure le mélange rapide entre l'eau brute et le réactif de coagulation, ce qui provoque un contact intime entre les particules elles-mêmes et le réactif avec la subséquente neutralisation des charges électrostatiques à la surface des particules colloïdales. L'annulation de ces forces de répulsion rend possible leur agglomération subséquente dans la phase de floculation et de séparation. (DRE GUELMA 2015)

Les réactifs en phase de mélange, utiliseront comme agent de floculation le sulfate d'aluminium pour déstabiliser la charge.

Le dimensionnement a été réalisé en tenant compte :

- Débit $Q=1800 \text{ m}^3/\text{h}$
- Temps de séjour $T \text{ séjour} \leq 60 \text{ sec}$
- Température $T= 15^\circ\text{C}$



Figure III.6 : Bâche de coagulation 2^{ème} chaine de production.

Les dimensions de bâche de coagulation sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : les dimensions de bâche de coagulation 2^{ème} chaine de production (DRE GUELMA 2015)

Dimension	Valeur	Unité
Longueur	3,00	m
Largeur	3,00	m
Hauteur d'eau	3,20	m
Volume en eau	28,80	m^3
Temps de séjour correspondant	57,60	sec

d) Bâche de Flocculation

L'annulation des forces de répulsion, à travers la phase de coagulation, rend possible leur agglomération subséquente au cours de la flocculation et la séparation. (DRE GUELMA 2015)

Le dimensionnement hydraulique de l'unité de Flocculation (Figure III.7) est assez équivalent à la bâche de coagulation, par contre la valeur de G change, en fait, le problème consiste à dissiper

dans le système une quantité suffisante d'énergie mécanique (agitation lente), au moyen d'organes appropriés en rotation. (DRE GUELMA 2015)



Figure III.7 : Bâche de floculation 2^{ème} chaine de production.

e) Bassin de mélange

Dans la nouvelle chaine de production en trouve 4 bassins de mélange de forme rectangulaire (Figure III.8). Le système de mélange est celui à palettes horizontales qui consistent en un groupe de lames montées à croisière sur un arbre unique qui occupe la totalité du volume du bassin.



Figure III.8 : Bassin de mélange 2^{ème} chaine de production.

Ce type de système permet une répartition plus uniforme des valeurs de dissipation et donc du gradient de vitesse, grâce à l'agencement de palettes, qui sont situés à des distances différents de l'axe de rotation avec des gradients de vitesse diminuant progressivement. (DRE GUELMA 2015)

Le volume requis a été calculé en réglant le temps de séjour max à 30 min.

$$V = Q * T \text{ séjour} = 1800 * 30 / 60 = 900 \text{ m}^3.$$

Les dimensions de bassin de mélange sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.5 : Les dimensions de bache de Flocculation 2^{ème} chaîne de production (DRE GUELMA 2015)

Dimensions	Valeur	Unité
Longueur	3,80	m
Largeur	15,40	m
Hauteur d'eau	3,80	m
Profondeur maximale	4,30	m
Largeur des lames	0,18	m
Distance minimale entre les lames et le fond de bassin	0,25	m
Distance minimale entre les lames et les murs périmétraux de bassin	0,25	m
Volume en eau	222,37	m ³
Temps de séjour correspondant	29,64	min

Les quatre bassins de mélange en béton armé avec un volume d'eau de 222,37 m³ chacun. (DRE GUELMA 2015)

A la sortie du bassin de mélange, ce fait aussi l'injection d'une solution de charbon actif comme étape supplémentaire dans le processus, pour améliorer la qualité de l'eau en éliminant divers contaminants organiques et inorganiques, telle que les goûts et les odeurs indésirables.

III.2.2.2 Décanteur

III.2.2.2.1 La première chaîne de production (ancienne station)

Cette chaîne est équipée d'un décanteur en béton, cylindro-coniques, avec ponts racleurs (Figure III.9) équipé d'un dispositif d'évacuation des boues. À travers lequel 70% de la matière en suspension est raclée sous forme de boue après 2 heures de séjour, une partie est réservée au bioprocessing et l'autre partie est rejetée en rivière. (Bouchemal and Hammoudi, 2016)



Figure III.9 : Décanteur 1^{ère} chaine de production.

Il est dimensionné à la base de débit 2000 m³/h. et une vitesse de 1.66 m/h

Les dimensions de cet ouvrage sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.6 : Les dimension de décanteur 1^{ère} chaine de production. (ZAOUI and GHAOUI 2013)

Le temps de séjour	2 h
La capacité (volume) du décanteur	3600 m ³
La surface totale du décanteur	1325 m ²
La hauteur du décanteur	3 m
Le diamètre du décanteur	40 m

III.2.2.2.2 Deuxième chaine de production (Extinction)

Le décanteur dans cette chaine est de type flux radial (Figure III.10). Ce choix est justifié par la disponibilité de ce type d'une plus grande longueur du seuil de débordement, avec conséquent facilité de respecter la limite de la charge hydraulique linéaire, qui doit être inférieure à 8 m³/mh.

- La garantie d'un temps de séjour de 3 heures au débit nominal ;
- Une vitesse maximale admissible de décantation égale à 1,2 m/h
- Garantie d'une efficacité de décantation assurée par l'inclinaison du fond de l'ouvrage

Les boues décantées sont dirigées par l'entremise du système de raclage vers un puisard central, où elles subissent un épaissement gravitaire. (DRE GUELMA 2015)



Figure III.10 : Décanteur 2^{ème} chaine de production.

Les données dimensionnelles de ce poste sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.7 : les dimensions de bassin de décanteur 2^{ème} chaine de production (DRE GUELMA 2015)

Description	Symbole	Valeur	Unité
Débit d'eau traitée	Q	1800	m ³ /h
Temps de séjour	T _s	3,00	h
Volume bassin	V = Q * T _s	5400	m ³
Charge hydraulique	Ch	1,20	m ³ /m ² * h
Surface horizontale	S = Q/Ch	1500	m ²
Nombre sédimentation		1	N
Débit d'eau traitée		1800	m ³ /h
Rayon intérieur		22,15	m
Dimensions adopte			
Diamètre intérieur		44,30	m
Surface horizontale		1540,55	m ²
Hauteur d'eau décantation		3,50	m
Hauteur de revanche		0,70	m
Volume d'eau de décantation		5391	m ³
Temps de séjour correspondant		2,995	h

III.2.2.3 Filtre à sable

III.2.2.3.1 La première chaine de production (ancienne station)

Dans la première chaine de production la filtration de l'eau s'effectue dans deux modules de 3 filtres ouverts à sable (Figure III.11) soit au total 06 filtres, d'où les filtres sont de type à cellule unique. Avec un système de fonctionnement automatique, et le type de sable c'est le type silice a une seule couche.

- La durée moyenne du changement du sable est 10 ans.
- Le lavage des filtres se fait avec de l'air et de l'eau, 2 à 3 fois par jours.
- Le temps de lavage est 15 minutes.

Les filtres sont dimensionnés à la base d'un débit d'eau filtrée de 2000 m³ /h., la vitesse de filtration est de 5.56 m/h (condition normale est ≤ 10 m/h). (ZAOUI and GHAOUI 2013)



Figure III.11 : Modules de 3 filtres ouverts à sable 1^{ère} chaine de production.



Figure III.12 : Filtres en cours d'opérations de lavage 1^{ère} chaine de production.

Les dimensions de cet ouvrage son présenter dans le tableau suivant :

Tableau III.8 : Les dimensions des unités de filtration.(ZAOUI and GHAOUI 2013)

Surface de modules de filtration	60 m ²
Débit pour un seul filtre	333 m ³ /h
Largeur de modules de filtration	6 m
Longueur de modules de filtration	10 m
Type de lit de sable	Monocouche gravitaire
La taille effective du sable	0.95 mm
La couche de sable	0.8 à 1.2 m
La hauteur de lit de sable	1 m
Hauteur d'eau dans le filtre	1.5 m
La charge hydraulique disponible pour la filtration	2.7 m
Le volume de modules de filtration	162 m ³
Le temps de rétention	29.19 min
Lavage à l'air seul avec un débit d'air	3000 m ³ /h
La vitesse d'insufflation d'air	50 (m ³ /h.m ²)
Lavage à l'eau seul avec un débit	1500 m ³ /h
La durée de lavage	15 min

III.2.2.3.2 Deuxième chaine de production (Extension)

Cette chaine utilise cinq filtres à sable rapides gravité ouverte (Figure III.13). L'entrée de l'eau, est régulée par une vanne automatique on/off est ouvert lors de la l'étape de filtration.

L'adoption du système Leopold adoptant éléments du type Under drain, pour une distribution de l'air et l'eau de manière uniforme sur toute la surface du filtre au cours du lavage, ce qui réduit le débit et le moment requis pour décolmater le filtre et revenir à l'efficacité initiale. (DRE GUELMA 2015)

A l'intérieur des filtres est un lit filtrant multicouche constitué d'une couche de 750 mm de sable de silice ayant une granulométrie moyenne de 0,9 mm, supporté par couche de gravier de 150 mm chacun, ayant des tailles de grains de 2 à 5 mm, de 2 à 10 mm et de 10 à 20 mm, pour une hauteur totale du filtre de 1,20 m.

L'eau passe à travers chaque filtre avec un mouvement vers le bas et s'écoule dans le système de collecte/distribution, à travers les modules Under drain des filtres Leopold. (DRE GUELMA 2015)



Figure III.13 : Filtre à sable 2^{ème} chaine de production.

Les filtres Leopold utilisent une séquence de rétro-lavage (Figure III.13) qui permet la fluidisation complète du lit. Pour assurer un nettoyage complet du média filtrant, on utilise le

dé tassage à l'air. Cette phase assure un nettoyage très efficace grâce aux forces de cisaillement importantes dans le média et à l'abrasion entre les grains.

L'eau et l'air de rétro-lavage sont introduits par planchers de filtres Leopold type S. Le plancher de filtre Leopold type S est conçu pour assurer une distribution uniforme de l'eau et de l'air de lavage pour nettoyer chaque espace du filtre sans perturbation du média filtrant. (DRE GUELMA 2015)

Le système de lavage du filtre est du type "air-air/eau-eau" à contre-courant selon un programme bien défini.

Lancement du cycle de retro-lavage, vous aurez la fermeture de la soupape d'admission de l'eau brute et quelques secondes plus tard celle de la soupape d'échappement de l'eau filtrée. Cette opération se fera en trois étapes :

1. La première étape est représentée par le passage à travers le filtre de l'air comprimé avec une charge de $70 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ à contre-courant, pendant 2 minutes ;
2. La deuxième étape consiste à laver avec de l'eau et de l'air, avec une charge de $70 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ pour l'air et de $12 \text{ m}^3/\text{m}.\text{h}$ pour l'eau, également à contre-courant, pendant 5 minutes ;
3. La troisième étape consiste en un lavage avec de l'eau seule, avec une charge de $15 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, également à contre-courant pendant 10 minutes ;

La consommation de l'aire et de l'eau et présenter dans le tableau suivant :

Tableau III.9 : Les Consommation d'air et d'eau dans les unités de filtration (DRE GUELMA 2015)

Cycle de lavage	Surface m^2	Durée du cycle Min	Débit Air $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$	Volume air m^3	Débit Air $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$	Volume eau m^3
Air	64,24	2	70	150	-----	
Air/eau	64,24	5	70	375	12	64,25
Eau	64,24	10	-----		15	161
Total		17		525		225,25

Les lavages des filtres, est enclenchés manuellement par l'opérateur.



Figure III.14 : Filtres en cours d'opérations de lavage 2^{ème} chaîne de production.

L'eau de lavage est extraite du bassin de désinfection, sous la station de filtration. La levée de ce bassin s'effectue par une pompe centrifuge.

Les différentes phases des cycles de lavage sont gérées par automate programmable. Automatismes interdisent l'enclenchement du lavage si un autre filtre est en cours de lavage.

L'entrée d'air et de l'eau de lavage, de manière uniforme sur le fond du filtre, se produit à partir d'une rigole collectrice, que dans l'étape de filtration recueille l'eau filtrée.

L'eau de lavage étant fermée, l'introduction de l'eau brute augmente de niveau jusqu'à déversoir dans la rigole transversale de chaque filtre placé plus haut que le niveau maximum de filtration, Les rigoles sont reliées aux collecteurs de récolte de toutes les eaux de lavage usées.

L'air nécessaire, pour briser tous les grumeaux de solides, étant produit par deux compresseurs rotatifs (1 en secours).

Le dimensionnement des unités de filtration et du retro lavage des filtres il est présenté dans le tableau III.10.

Les matériaux provenant du lavage des filtres seront conduits au bassin de collecteur à travers une conduite de 500 mm de diamètre, avec une capacité de 242,88m³. A partir de celui-ci, l'eau de récupération sera pompée par deux pompes au bassin de mélange ou déchargée dans l'oued.

Sur la base d'un lavage par jour, les pertes maximums d'eau de lavage s'élèvent à 2,61% du débit d'eau traitée.

Tableau III.10 : Dimensionnement des unités de filtration 2^{ème} chaine (DRE GUELMA 2015)

Description	Symbol	Unité	Valeur
Débit nominal eau a traité	Q	l/s	500
Largeur du filtre		m	4,40
Longueur		m	14,60
Surface de filtration		m ²	64,24
N° des filtres fonctionnant		n	5
Surface de filtration		m ²	321,20
Charge hydraulique	C _h	m/h	5,6
Surface minimum de filtration		m ²	256,96
N° des filtres assurant la surface minimum (en		n	4
Charge hydraulique (4 filtres fonctionnant+1	C _h	m/h	7
Hauteur du lit de filtre (sable quartzeux)		m	0,75
Taille effective du matériaux filtrant		mm	0,90
Support au lit filtrant		m	0,45
Hauteur d'eau au-dessus du lit filtrant		m	2,00
Pompes de Retro lavage			
Débit maximum d'eau de lavage		m ³ /m ² h	15
Débit maximum d'eau de lavage d'un filtre		m ³ /h	964,00
Volume maximum d'eau de lavage d'un filtre		m ³	225,25
Hauteur manométrique		m	8,34
Rendement		%	83,5
Puissance absorbée		kW	26,20
Nombre de pompes (deux lignes + 1 en secours)		n	3
Nombre de pompes en service		n	1
Surpresseurs air			
Débit maximum d'air de lavage		m ³ /m ² h	70
Débit maximum d'air de lavage d'un filtre		m ³ /h	4500
Volume maximum d'air de lavage d'un filtre		m ³	525,00
Nombre de surpresseur (1 + 1 en secours)		n	2
Nombre de surpresseur en service		n	1
Pression		mbar	0,7
Moteur		kW	90

III.2.2.4 Désinfection et stockage :

III.2.2.4.1 La première chaine de production (ancienne station)

La première chaine de production est équipée d'un réservoir en béton armé de forme circulaires, fermé et semi-enterré, ayant une capacité de 3000 m³ (Figure III.15). Ce réservoir est approvisionné par une conduite d'un diamètre de 700 mm.

- ❖ Le diamètre du réservoir est : 28 m.
- ❖ La surface de réservoir : 615.44 m².
- ❖ La hauteur du réservoir : 5 m.
- ❖ Le temps nécessaire pour que le réservoir se remplit : 1.5 h.

Le processus de désinfection est également effectué dans ce réservoir, par l'hypochlorite de sodium injecté à partir d'un bac par une pompe doseuse.



Figure III.15 : Réservoir de stockage 1^{ère} chaine de production.

III.2.2.5.2 Deuxième chaine de production (Extension)

a) Bâche de désinfection

L'eau sortie des filtres s'accumule dans une bâche sous les unités de filtration, d'où il prévoit un dosage d'hypochlorite de sodium, comme traitement de désinfection finale avec le double objectif de désinfecter l'effluent traité et de maintenir une concentration de désinfectant dans le réseau de service, comme mesure de prévention et de contrôle de procédé. La désinfection est asservie à une mesure de chlore résiduel à la sortie de la station.

Cela suppose un mélange lent de l'eau devant être obtenue par l'utilisation de réservoirs à écoulement plug-flow en serpentin qui permet à toutes les particules de rester en même temps dans la bêche de chloration. (DRE GUELMA 2015)

Les dimensions de la bêche de chloration sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.11 : Dimensionnement de la bêche de chloration (DRE GUELMA 2015)

Description	Symbole	Valeur	Unité
Débit d'eau traitée	Q	1800	m ³ /h
Tems de séjour	T _s	> 25	min
Volume bassin	V=Q*T _s	750	m ³
Dimensions adopté			
a) Niveau - 4,10			
Surface horizontale		224,19	m ²
Hauteur d'eau		2,80	m
Volume d'eau		627,73	m ³
b) Niveau - 5,60			
Surface horizontale		44,10	m ²
Hauteur d'eau		4,30	m
Volume d'eau		189,63	m ³
Volume total d'eau (a+b)		817,36	m ³
Tems de séjour correspondant		27,27	min

b) Réservoir de stockage

La deuxième et chaîne de production également équipée d'un réservoir en béton armé de forme circulaire, fermé et enterré, ayant une capacité de 3000 m³ (Figure III.16). Ce réservoir est approvisionné par une conduite d'un diamètre de 700 mm.

- ❖ Le diamètre du réservoir est : 28 m.
- ❖ La surface de réservoir : 615.44 m².
- ❖ La hauteur du réservoir : 5 m.
- ❖ Le temps nécessaire pour que le réservoir se remplit : 1.5 h.



Figure III.16 : Réservoir de stockage 2^{ème} chaine de production.

III.3. Comparaison

Tableau III.12 : la comparaison entre les deux chaines de production.

Process de traitement	1 ^{ère} chaine de production	2 ^{ème} chaine de production
Oxydation	Bassin de préchloration	Cascade d'aération + bassin de la correction de ph + bassin du pré chloration
Bassin de mélange	Longueur : 16 m Largeur : 6 m Hauteur : 5 m	Longueur : 3,80 m Largeur : 15,40 m Hauteur : 3,80 m
	L'injection du coagulant et le floculant et l'agitation dans le bassin	L'injection de coagulant et l'agitation dans la bache de coagulation L'injection de floculant et l'agitation dans la bache de floculation
Décanteur	La capacité (volume) : 3600 m ³ La surface totale : 1325 m ² La hauteur : 3 m Le diamètre : 40 m	La capacité (volume) : 5400 m ³ La surface totale : 1540,55 m ² La hauteur : 3,5 m Le diamètre : 44,30 m
	Type cylindro-conique avec pont racleur du fond	Type flux radial avec pont racleur du fond et de la surface
Filtration	Six filtres à sable de type silice à une seule couche.	cinq filtres à sable rapides gravité ouverte
	Débit pour un seul filtre : 333m ³ /h Largeur de modules de filtration : 6 m Longueur de modules de filtration : 10 m	Débit nominale d'eau traite : 500 l/s Largeur du filtre : 4,40 m Longueur du filtre : 4,60 m
Désinfection	Avec une injection directe de l'hypochlorite de sodium dans le réservoir	L'injection de l'hypochlorite de sodium dans la bache de désinfection
Réservoir de stockage	Réservoir en béton d'une capacité de 3000 m ³	Réservoir en béton d'une capacité de 3000 m ³

III.4 Les problèmes rencontrés

III.4.1 Décanteur

III.4.1.1 La premier chaine de production (ancien station)

- ❖ Colmatage des conduites d'extraction des boues, à cause de manque d'entretien périodique (ne pas faire fonctionner le pont racleur d'une façon périodique au bien le faire marcher sont l'ouverture de la vanne d'extraction) Ce qui a conduit au dépôt d'une grande quantité des boues au fond du décanteur, avec la pression de l'eau, cela a provoqué le blocage des conduites d'extraction des boues. Par conséquent ce problème exige que le décanteur soit vide pour permettre aux assistants de maintenance d'intervenir pour évacuer les bous du fond de l'ouvrage manuellement avec des pompes mobiles (Figure III.17). Cette opération prend beaucoup de tempe et d'efforts d'une part, et d'autre part, cela affecté négativement sur l'équilibre de l'ouvrage et provoque des fissures dans la couche isolante de SIKA en raison d'une exposition prolongée au soleil.
- ❖ L'accumulation d'une importante couche de boues au fond du bassin de décantation pendant une longue période a un impact négatif sur la qualité de l'eau traitée.



Figure III.17 : Evacuation des boues du fond de décanteur manuellement avec des pompes mobiles 1^{ère} chaine de production.

- ❖ Nous enregistrons également un autre problème, rendement de raclage non optimale à cause d'endommagement de la couche de caoutchouc des roues de pont racleur en raison

de leur exposition directe et permanente aux facteurs climatiques (soleil et pluie). Cela fait tourner le pont à une vitesse plus lente.

- ❖ Absence du raclage de surface, qui éliminer les floccs qui en pas le temps pour décantée, cette dernière et acheminer directement vers les filtres ce qui a provoqué leur colmatage.

III.4.1.2 La deuxième chaine de production (extension)

- ❖ Raclage de surface n'est pas en service à cause de non construction de la chambre d'évacuation les floccs qui en pas le temps pour décantée. Donc, cette dernière et acheminer directement vers les filtres ce qui a provoqué leur colmatage.

III.4.2 Les filtres à sable

III.4.2.1 La première chaine de production (ancienne station)

- ❖ Colmatage rapide des filtres à cause des floccs qui en pas le temps pour décantée et non raclées pendant la décantation.
- ❖ L'eau arrivée de décanteur acheminée vers les filtres ne trouvent pas un obstacle juste à la fin du déversoir du dernier filtre dès deux modules, ce qui engendre une stagnation d'eau qui favorisent une formation des algues qui une influence sur la qualité d'eau en aval (figure III.18).



Figure III.18 : Le problème de stagnation dans le dernier filtre de module de filtration 1^{er} chaine de production.

III.4.2.2 La deuxième chaine de production (extension)

- ❖ Colmatage rapide des filtres à cause des floccs qui n'ont pas eu le temps pour décanter ni racler pendant la décantation.
- ❖ La durée du lavage des filtres n'est pas respectée (moins de 15 min durée indispensables au lavage) afin d'éviter la surélévation du niveau des eaux rejetées (évacuées vers la chambre de recyclage des boues) pendant le lavage, qui peut endommager les pompes, ces dernières se caractérisent par des faibles débits comparant aux anciens qui le remplacent (envoyées à la maintenance ça fait deux ans).

III.4.3 L'automatisme

III.4.3.1 La première chaine de production (ancienne station)

- ❖ Dans la première chaine de production est installé un système semi-automatique (en arrêt depuis 2004) avec des vannes pneumatiques. L'absence d'un système automatisé et téléguidé à distance entraîne une augmentation de l'effort, du temps et de la difficulté à détecter les dysfonctionnements lorsqu'ils surviennent.

III.4.3.2 La deuxième chaine de production (Extension)

- ❖ Système d'automatisme bien installé et branché avec des vannes électriques (Figure III.19). Mais l'opérateur ne peut faire que le contrôle localement au mieux à travers les tableaux électriques (Figure III.19). Les systèmes ne sont pas en service à cause de la non acquisition du logiciel spécifique.



Figure III.19 : Des vannes électriques avec mode local/ distance 2^{ème} chaine de production.



Figure III.20 : Tableaux électrique de contrôle des vannes électrique à distance 2^{ème} chaîne de production.

III.5 Les solution proposées

III.5.1 Décanteur

III.5.1.1 La première chaîne de production (ancienne station)

- ❖ Afin d'éviter le problème de colmatage des conduites d'extraction des boues, il faut maintenir un entretien périodique, et faire marcher le pont racleur en parallèle avec l'ouverture de vanne d'extraction au moins une seule fois par jour (selon la qualité d'eau brute).

Ça permet aussi de ne pas accumuler une grosse couche des boues au fond de l'ouvrage pendant longtemps, et garantir une bonne clarification d'eau.

- ❖ Le changement des roues du pont racleur et les faire couvrir à fin de les protéger contre le changement de climat période estivale et hivernale (soleil et pluie) permette de garantir un bon rendement de raclage.

III.5.1.2 La deuxième chaîne de production (extension)

- ❖ La construction de la chambre d'évacuation des floques qui en pas le temps de décanter

III.5.2 Filtre à sable

III.5.2.1 La premier chaîne de production (ancien station)

- ❖ Avoir une bonne décantation, consternant l'élimination des particules flottant, évite le colmatage des filtres rapidement.

- ❖ La création d'un obstacle juste à la fin de déversoir des deux derniers filtres dans les deux modules de filtration, empêche la stagnation d'eau.

III.5.2.2 La deuxième chaîne de production (extension)

- ❖ Avoir une bonne décantation, concernant l'élimination des particules flottantes, freine le colmatage rapide des filtres.
- ❖ L'installation des pompes avec des caractéristiques qui assurent le débit nécessaire pour évacuer les boues et l'eau de lavage vers le recyclage ou bien vers le rejet en assurant que la chambre ne soit pas inondée. Ça garantit le temps nécessaire pour compléter le cycle de lavage des filtres.

III.5.3 L'automatisme

III.5.3.1 La première chaîne de production (ancienne station)

- ❖ Installer un système automatisé complètement. Ce qui permet une précision dans toutes les opérations et l'économie d'efforts, du temps, réduire le risque et garantir un bon processus de traitement.

III.5.3.2 La deuxième chaîne de production (extension)

- ❖ Relier les vannes électriques avec un logiciel évite l'augmentation de l'effort, du temps et de la difficulté à détecter les dysfonctionnements lorsqu'ils surviennent.

Il existe plusieurs logiciels de télégestion utilisés pour manipuler les systèmes automatisés dans une station de traitement d'eau. Ces logiciels permettent de surveiller et de contrôler à distance les équipements et les processus de traitement de l'eau.

Voici quelques exemples de logiciels couramment utilisés dans ce domaine :

1. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) : Il s'agit d'un système de contrôle et d'acquisition de données qui permet de surveiller et de contrôler les processus industriels. Les stations de traitement d'eau utilisent souvent des systèmes SCADA pour surveiller les paramètres clés tels que la pression, le débit, la qualité de l'eau, etc. Ces systèmes fournissent une interface conviviale pour les opérateurs afin de visualiser les données en temps réel et de prendre des décisions appropriées.

2. HMI (Human-Machine Interface) :

Les interfaces homme-machine sont des logiciels qui permettent aux opérateurs de contrôler les systèmes automatisés à partir d'une interface graphique conviviale. Ces logiciels offrent des

fonctionnalités telles que le contrôle des vannes, des pompes, des moteurs, etc., ainsi que la visualisation des données en temps réel.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un diagnostic et une description des ouvrages des deux chaînes de production de station de traitement des eaux potables de Hammam Debaghe-GUELMA et leurs dimensions, nous avons également mentionné la différence entre les deux chaînes et le fonctionnement de chacune, et nous avons cité la plupart des problèmes qui ont une influence directe sur le process de traitement, avec la proposition des solutions à ces problèmes.

CHAPITRE IV
QUALITE DES EAUX DE
LA STATION DE
TRAITEMENT

IV.1 Introduction

L'objectif principal de ce chapitre et d'étude est d'évaluer le rendement des deux chaînes de production de la station de traitement. Cela implique l'étude de rendement d'élimination de la turbidité et aussi le rendement de décanteur et le filtre. Ainsi que la comparaison des paramètre physico-chimique (pH, Turbidité, Conductivité, TDS, Salinité, Chlore, Température mesure dans le labo de station en 2022 avec les normes de l'OMS.

IV.2 Détermination du rendement de la station

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence des particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre.

NTU < 5 Eau claire

5 < NTU < 30 Eau légèrement trouble

NTU > 50 Eau trouble

IV.2.1 Rendement d'élimination de la turbidité première chaine de production

La figure IV.1 représente le rendement d'élimination de la turbidité de la première chaine de production.

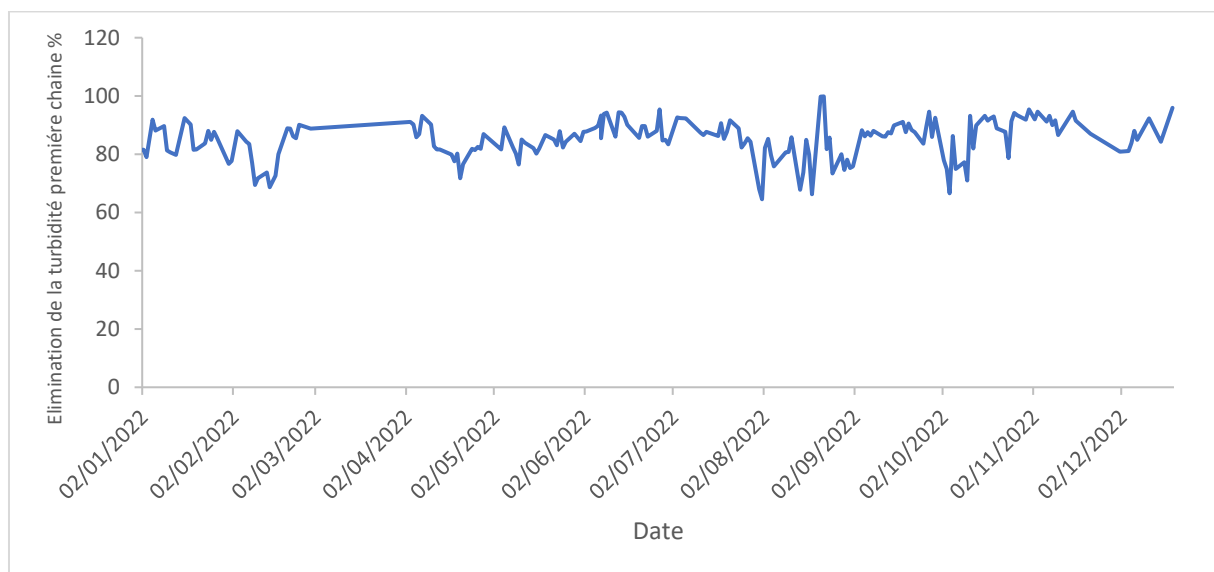


Figure IV.1 : Rendement d'élimination de la turbidité 1^{ère} chaine de production

Le graphe IV.1 révèle que le rendement varie entre 99.78 % et 64.53%. Donc on peut dire que la première chaîne a un bon rendement d'élimination de la turbidité. Sachant que les valeurs de la turbidité mesurées dans l'année 2022 varient entre 2.32 NTU et 17.9 NTU.

IV.2.2 Rendement d'élimination de la turbidité deuxième chaîne de production (Extension)

La figure IV.2 représente le rendement d'élimination de la turbidité de la deuxième chaîne de production.

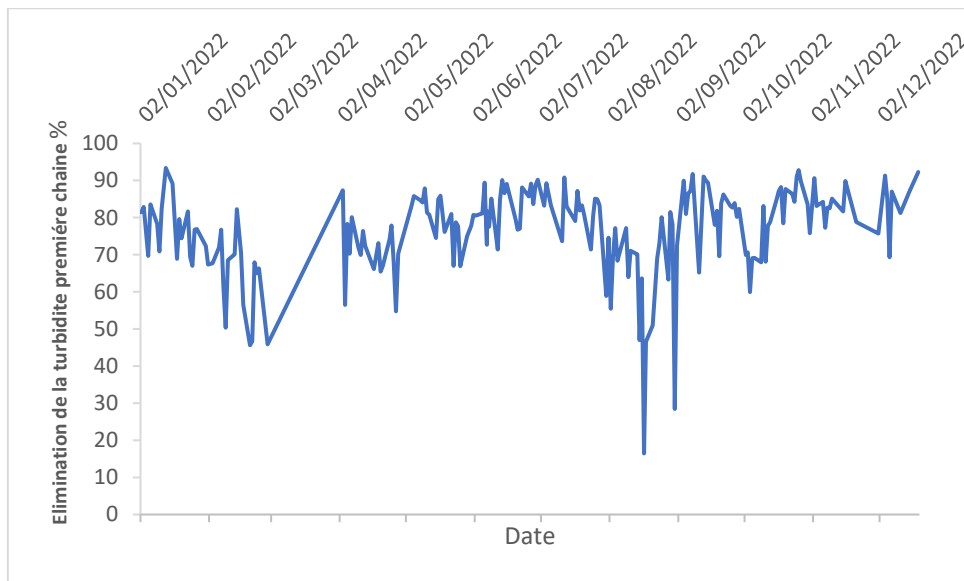


Figure IV. 2 : Rendement d'élimination de la turbidité 2^{ème} chaîne de production

Le graphique de la figure IV.2 montre que le rendement d'élimination de la turbidité varie de 16.46 % en période estivale quand le niveau de barrage atteint un niveau minimal et un maximum d'élimination de 93.39% en période hivernale. On conclue que la première chaîne a un bon rendement d'élimination de la turbidité. Sachant que les valeurs de la turbidité mesurées dans l'année 2022 varient entre 2.32 et 17.9 NTU.

IV.2.1.1 Le Décanteur

a. Première chaine de production

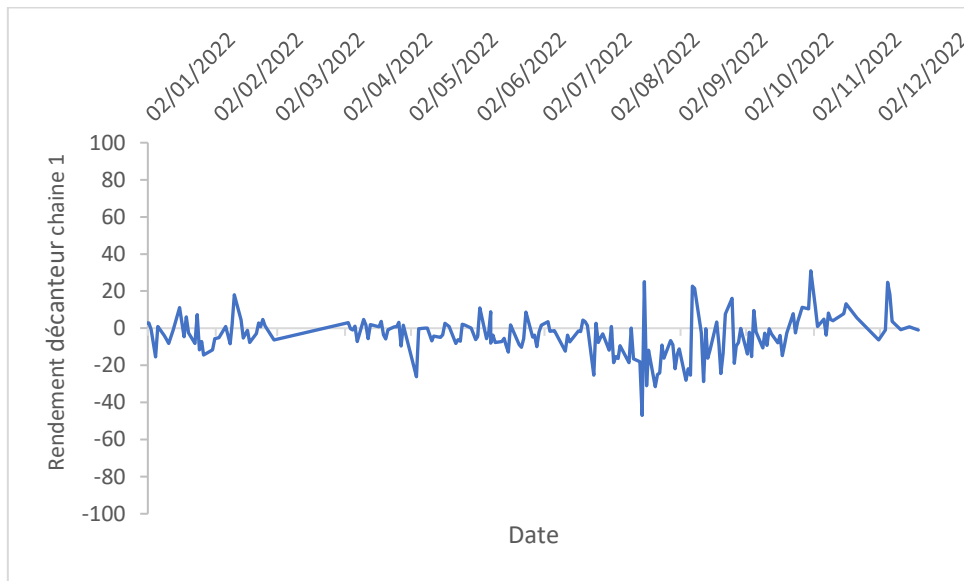
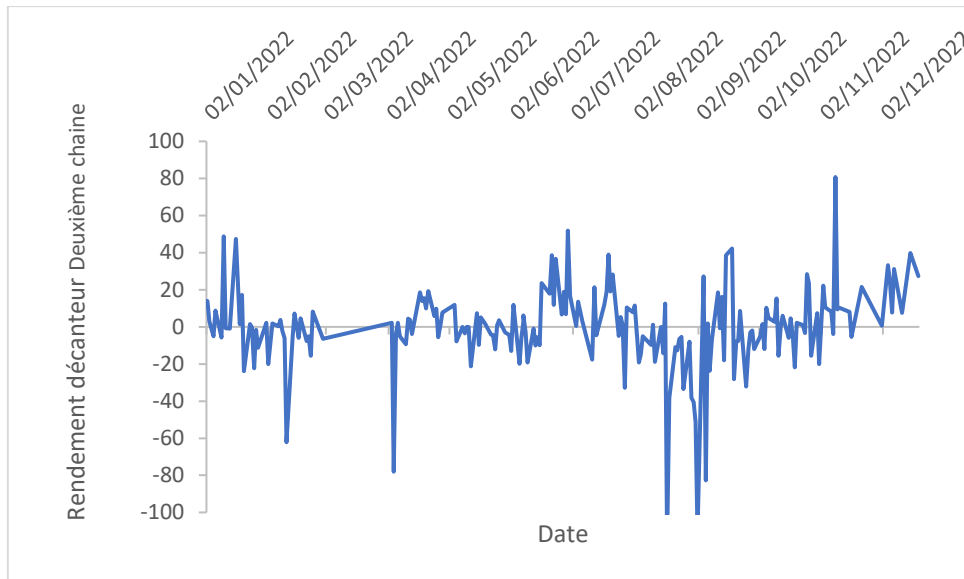


Figure IV.3 : Rendement du décanteur 1^{er}e chaine de production

En remarque une fluctuation significative du rendement du décanteur au fil du temps (Figure IV.3). On observe des oscillations importantes du rendement avec des valeurs positives et négatives alternant fréquemment. Cette variation peut indiquer des problèmes de fonctionnement et de stabilité dans le décanteur. Cependant, il est important de noter que le problème spécifique de colmatage des conduites d'extraction des boues mentionné précédemment dans le Chapitre III peut avoir une influence significative sur les performances du décanteur. Le colmatage des conduites peut entraîner une accumulation de boues et une obstruction du système d'extraction, ce qui compromet le processus de séparation solide-liquide.

b. Deuxième Chaîne de production (Extension)**Figure IV.4** : Rendement du décanteur 2^{ème} chaîne de production

Certaines valeurs de rendement positives indiquent des périodes où le décanteur a réussi à séparer efficacement les solides des liquides, entraînant ainsi un liquide clarifié de bonne qualité. Cela peut être le résultat d'une opération optimale du décanteur, d'une maintenance adéquate ou de conditions de fonctionnement favorables.

Cependant, les valeurs de rendement négatives sont préoccupantes, car elles indiquent des périodes où le décanteur a eu du mal à accomplir sa fonction de séparation. Cela peut être dû au problème mentionné précédemment dans le Chapitre III avec le racleur de surface qui ne fonctionne pas. L'accumulation de particules solides à la surface du liquide peut compromettre l'efficacité du processus de décantation et entraîner une dégradation de la qualité du liquide clarifié.

Il est important de noter que les données de rendement peuvent également être influencées par d'autres facteurs tels les conditions climatologiques.

V.2.1.2 Le filtre à sable

a. Première chaine de production

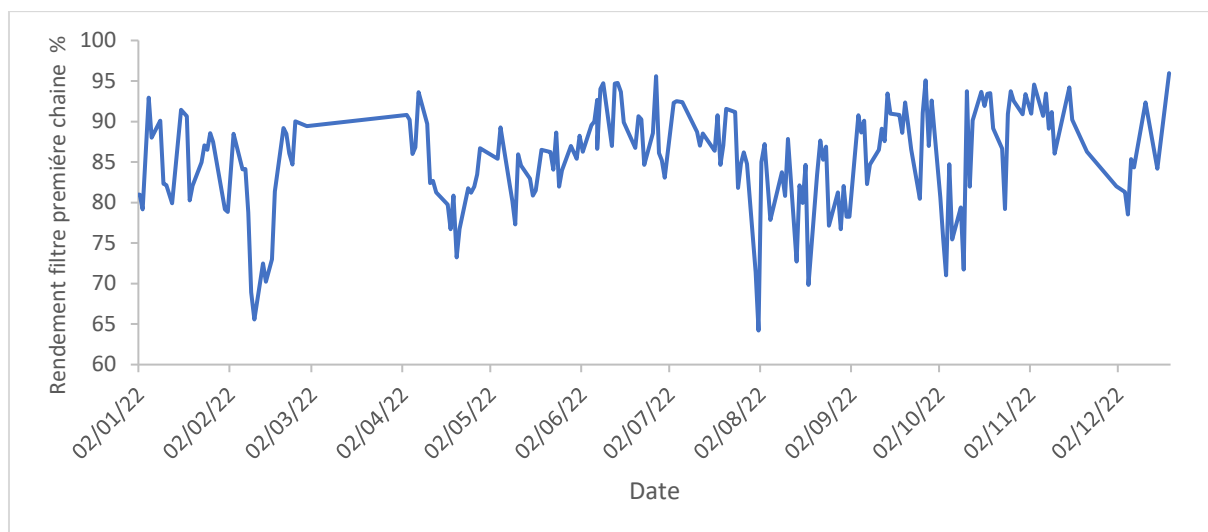


Figure IV.5 : Rendement du filtre à sable 1^{ère} chaine de production

Le filtre à sable a affiché des performances variables tout au long de l'année 2022. Le rendement mensuel oscille entre 64 % en Aout et 96 % en Novembre. La valeur moyenne annuelle de rendement est de l'ordre de 85,87 %.

On constate d'après le graphique des rendements qui excèdent les 90% pour les mois de, avril, septembre, novembre et décembre, qui conclue le bon fonctionnement du filtre et assurant une très bonne clarification.

Tandis que pour les mois restant de l'année on observe un rendement qui varie de 64% à 83%

Cette baisse de rendement signifie un problème en amont (décanteur) qui empêche le filtre de donner son rendement maximal malgré la faible turbidité de l'eau brute la cause principale est la dose de coagulant injecter lors de l'étape de coagulation qui donne un caractère trouble a l'eau.

Il est important de noter que les performances du filtre à sable peuvent être influencées par divers facteurs tels que la qualité de l'eau brute, la période (hivernale ou estivale), les précipitations et l'entretien régulier des ouvrages.

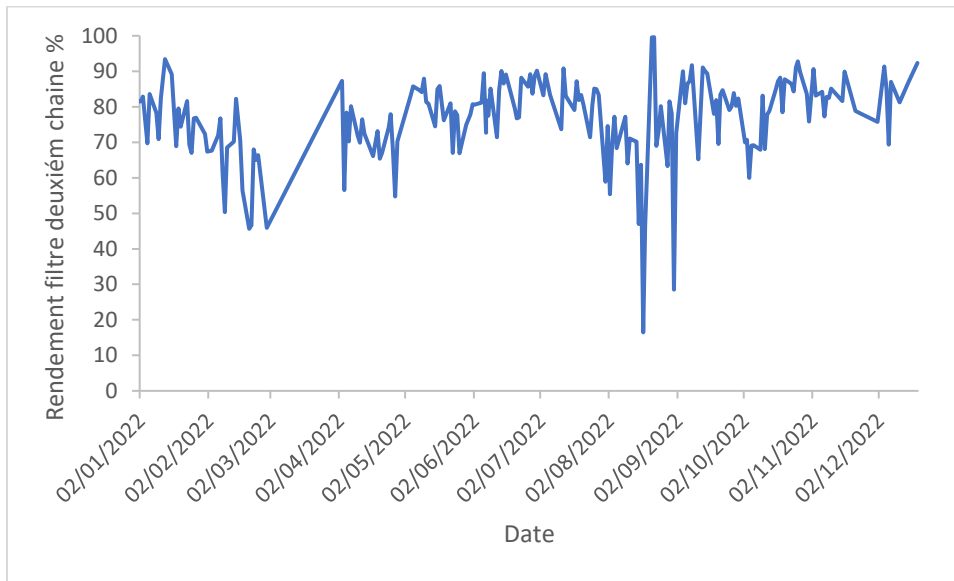
a. Deuxième Chaîne de production (Extension)

Figure IV.6 : Rendement du filtre à sable 2^{ème} chaîne de production

Le graphique IV.6 a montré que la performance du filtre à sable est variable au cours de l'année d'étude 2022, dont on remarque une oscillation mensuelle entre 16 et 99 % en Aout. Les pics enregistrés en mois d'Aout explique par le mauvais fonctionnement du filtre qui a nécessité un nettoyage et revoir la chaîne de traitement en amont. La valeur moyenne annuelle de rendement est de l'ordre de 77.76 % cette dernière marque le bon fonctionnement du filtre.

IV.2.2 Diagramme de variation spatiotemporelle des paramètres mesurés

a. Première chaîne de production



Figure VI.7: Evolution spatiotemporelle des paramètres physicochimiques (pH, Turbidité, Conductivité, TDS, Salinité, Chlore, Température) 1^{ère} chaîne de production.

b. Deuxième Chaîne de production (Extension)



Figure VI.8 : Evolution spatiotemporelle des paramètres physicochimiques (pH, Turbidité, Conductivité, TDS, Salinité, Chlore, Température) 2^{ème} chaîne de production.

Les Figure (VI.7) et (VI.8) montre l'évolution spatiotemporelle des paramètres physicochimiques (pH, Turbidité, Conductivité, TDS, Salinité, Chlore, Température) la 1^{ère} et la 2^{ème} chaînes de production. En remarque que tous les paramètre mesurer sont au-dessous de la norme de l'OMS :

- pH 6.5-8.5.
- Turbidité ≤ 5 NTU.
- Conductivité ≤ 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$.
- TDS ≤ 600 ppm.
- Salinité ≤ 0.5 g/l.
- Chlore 0.2-2 mg/l.
- Température $\leq 25^\circ\text{C}$.

Donc en peut dire que l'eau traitée est de bonne qualité et respecte la norme de potabilité OMS.

La valeur de chlore au-dessous de la limite inférieure de la norme de l'OMS mais il est à noter qu'une dose finale de chlore ajoutée dans le réservoir de distribution pour assurer la norme ainsi que pour garantir l'effet rémanent c à d l'élimination des bactéries et substances indésirable dans le réseau de distribution.

IV.3 Conclusion :

En conclusion, les rendements des deux chaînes de production ont été satisfaisants. Le décanteur fonctionne bien lorsque les conditions sont remplies à savoir le racleur des boues et l'entretien périodique. Le filtre à sable a un bon fonctionnement et son diminuer est dû à l'étape précédent. Les paramètres de qualité de l'eau sont tous conformes aux normes de l'OMS, ce qui garantit une eau traitée de qualité, claire et conforme aux normes sanitaires internationales. Cela démontre l'efficacité des processus de traitement.

CHAPITRE V

MODELISATION DE LA DOSE DE

COUAGULANT

V. 1 INTRODUCTION

Au cours des dernières années, l'Algérie a connu une forte demande en eau potable, amplifiée par une forte croissance démographique dans les grands centres urbains. Cette problématique de l'eau a été résolue par de gros investissements mettant en service d'importantes infrastructures de production et de distribution d'eau potable. Etant donné que le traitement des eaux est une étape indispensable et réglementée, les stations de traitement de l'eau potable figurent parmi les infrastructures auxquelles une grande importance a été donnée.

La conception d'une station de traitement sophistiquée correctement dimensionnée et incluant un large ensemble d'équipements mécaniques et hydromécaniques.

La coagulation est l'une des étapes les plus importantes dans le traitement des eaux. La difficulté principale est de déterminer la dose optimale de coagulant à injecter en fonction des caractéristiques de l'eau brute. Un mauvais contrôle de ce procédé peut entraîner une augmentation importante des coûts de fonctionnement et le non-respect des objectifs de qualité en sortie de la station de traitement. Le sulfate d'aluminium ($Al_2SO_4.18H_2O$) est le réactif coagulant le plus généralement utilisé. La détermination de la dose de coagulant se fait au moyen de l'essai dit de « Jar Test » conduit en laboratoire. Ce type d'approche a le désavantage d'avoir un temps de retard relativement long et ne permet donc pas un contrôle automatique du procédé de coagulation.

L'objectif de ce chapitre est de bien prendre connaissance de nos données et de trouver des informations inconnues, à l'aide de l'application des techniques de l'intelligence artificielle afin de modéliser et analyser la fiabilité des données et avoir un modèle de prédiction.

Les réseaux de neurones offrent la possibilité de modéliser des données arbitraires d'entrée au moyen de l'ajustement des connexions internes au réseau, de sorte que pour une entrée donnée de la différence entre la sortie du réseau et la réponse souhaitée, l'erreur est minimisée. L'objectif principal de cette partie est de sélectionner les meilleurs modèles RNA pouvant prédire la dose du coagulant en fonction des principaux paramètres de la qualité des eaux brutes reçu dans la station de production d'eau potable Hammam Debaghe.

V.2 Méthode de construction des modèles RNA

V.2.1 Taille de la base des données

Dans le cas de notre étude, on a choisi d'utiliser l'ensemble des données des paramètres pH,

Conductivité (Cond.), turbidité (Turb.), pH et température (T) (à savoir 108 données).

L'ensemble des données utilisées dans cette étude est constitué d'un premier groupe de 80 données pour l'entraînement, le reste (28) données est pour la phase d'évaluation (test).

V.2.2 Partage de l'ensemble des données

Il est conseillé de partager l'ensemble des données en deux sous-ensembles.

- ✓ Le premier sous ensemble servira lors de la construction du modèle RNA à apprentissage, il représentera 85% de l'ensemble des données.
- ✓ Le deuxième sous ensemble qui représente les 15% restante de l'ensemble des données aura pour mission d'effectuer le test de validation. Il faut être prudent toutefois d'assurer que l'ensemble de test n'inclut pas les données de l'ensemble de la formation.

Si toutefois le modèle RNA est formé d'un ensemble de données particulier, encore testé avec un autre ensemble de données complètement différentes (Djeddou, 2014).

V.2.3 Fonction d'activation

Le choix de la fonction d'activation pour les couches cachées est nécessaire pour introduire la non-linéarité dans le réseau. Sans la non-linéarité, les couches cachées se comportent comme des perceptrons simples.

Cependant, la non-linéarité (c'est-à-la capacité de représenter des fonctions non linéaires) qui rend les réseaux multicouches puissant. Pour l'apprentissage de rétro-propagation, la fonction d'activation doit être différentiables, et ça aide si la fonction est limitée, les fonctions sigmoïdes telles que la logistique, la fonction tangente hyperbolique (tanh).

Lors de la conception des réseaux de neurones artificiels, la fonction de transfert initiale est appliquée à chacune des couches du réseau. Pour la plupart des réseaux. Dans cette étude notre choix c'est orienté pour la fonction d'activation tanh pour les neurones de la couche cachés, et pour la couche de sortie la fonction linéaire.

V.2.4 Critère de l'arrêt d'entraînement

Afin d'assurer que le modèle RNA est capable de généraliser, il est parfois nécessaire d'arrêter la formation (l'apprentissage) avant que le réseau converge vers un minimum global.

La phase d'apprentissage ou de formation d'un RNA peut être interrompue à trois conditions :

- ✓ Le nombre maximal d'époques a été atteint ;

- ✓ L'erreur quadratique moyenne a convergé vers un minimum, ou
- ✓ L'algorithme d'apprentissage a atteint un minimum de pente (Djeddou, 2014).

V.2.5 Mesure des performances de prédiction

Les performances de prédiction des RNA peuvent être mesurées en utilisant un certain nombre de facteurs différents. Il faut être prudent quant à ces critères pour décider de la mesure qui détermine la performance du RNA. Dans cette étude trois méthodes sont utilisées pour mesurer la performance prédictive du RNA.

1. Erreur quadratique moyenne (EQM) entre les valeurs de sortie prédites et les valeurs cibles correspondantes.

$$EQM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[DC_pred._i - DC_obs._i \right]^2$$

N: Nombre de paires de valeurs,

DC_pred: Valeur de sortie prédite par le modèle RNA,

DC_obs: Valeur cible correspondante (observée).

2. Erreur moyenne absolue (EMA) entre les valeurs cibles et les valeurs de sortie correspondantes (valeurs de sortie prédites).

$$EMA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| DC_pred._i - DC_obs._i \right|$$

3. Coefficient de corrélation linéaire (R) entre les valeurs cibles et les valeurs de sortie prédites correspondantes.

$$R = \frac{N \sum DC_pred. - (\sum DC_obs.)(\sum DC_pred.)}{\sqrt{(N \sum DC_obs.^2 - (\sum DC_obs.)^2) \times (N \sum DC_pred.^2 - (\sum DC_pred.)^2)}}$$

La performance est mesurée à la fois pendant la phase d'apprentissage (formation) et la phase de test.

V.3 Prédiction de la dose de coagulation par différents modèles réseaux de neurones

V.3.1 Prédiction de la dose de coagulation par modèle PMC

Les données d'entrée du modèle MCP sont le pH, la température, la turbidité et la conductivité dans les eaux brutes à l'entrée de la station. Le modèle construit pour prédire la dose de coagulant du procédé de traitement dans la station de traitement de Hammam Debaghe est

constitué de 4 neurones dans la couche d'entrées, 9 neurones dans la couche cachée, et 1 neurone dans la couche de sortie.

Les performances de la prédiction sont présentées dans le tableau V.1.

Tableau V.1 : Performances de la prédiction de la dose de coagulant par modèle MPC (4-9-1).

	Erreur quadratique moyenne EQM (%)	Erreur moyenne absolue EMA (%)	R
Ensemble des données	7.27	5.55	0.8066

Les doses de coagulants prédits du procédé de traitement de la station de Hammam Bebaghe sont représentées sur la figure V.1.

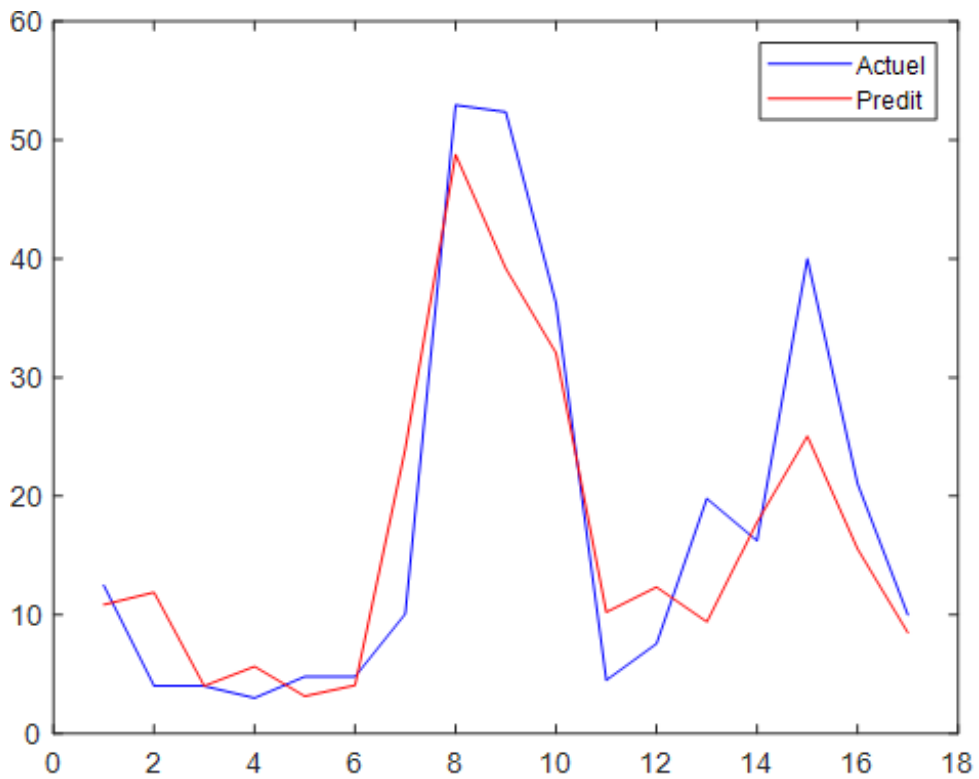


Figure V.1 : Dose de coagulant prédite par modèle MPC (4-9-1) versus dose de coagulant utilisée par les gestionnaires de la station (valeur cible).

Une comparaison graphique entre les doses de coagulant prédites par le modèle PMC et les doses de coagulants utilisées par les gestionnaires de la station (valeurs cibles).

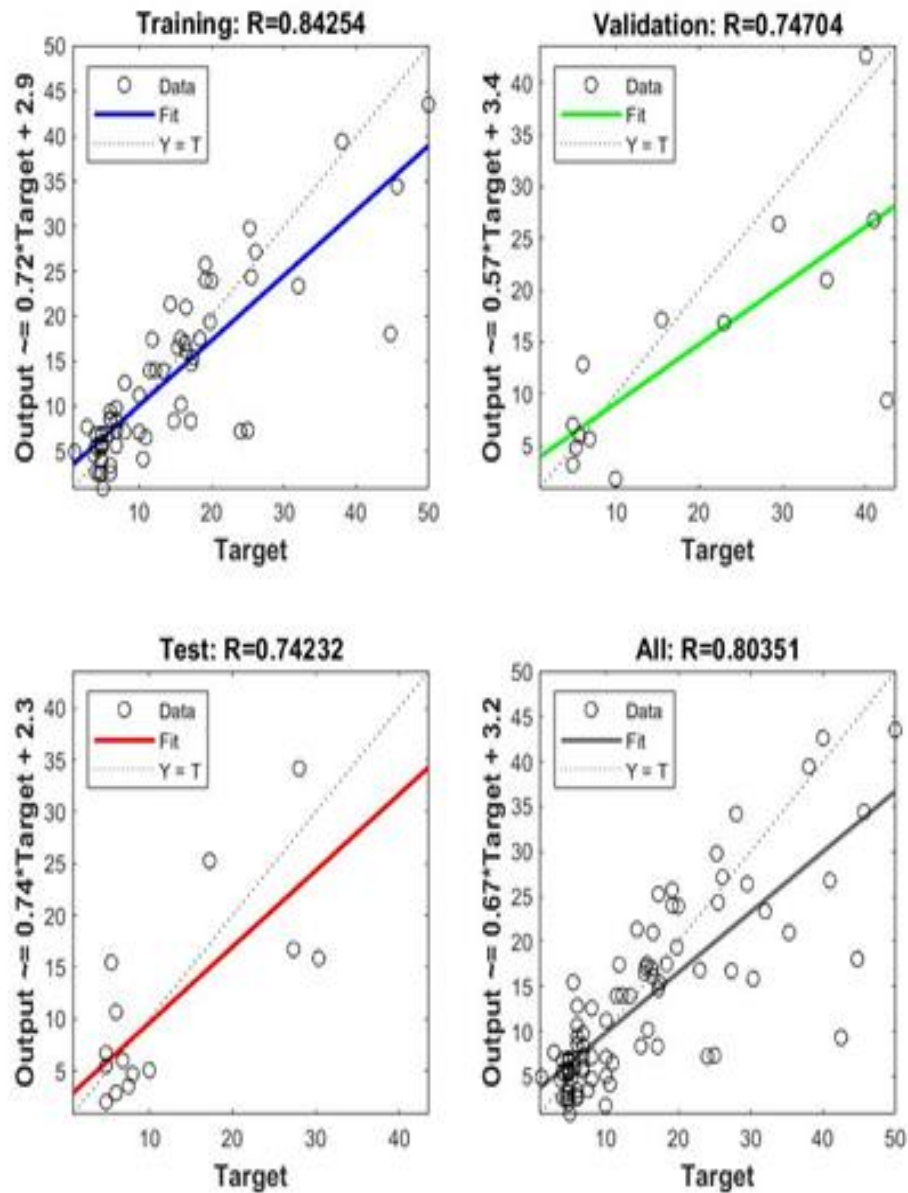


Figure V.2 : Comparaison des valeurs observées et calculées pour le modèle RLM, calage et validation.

Les résultats du modèle montrent que le coefficient de régression $R = 0,8066$, indique que le modèle PMC est en mesure de bien répondre aux données d'apprentissage et capable de les rapprocher. Le modèle PMC est donc en mesure de résoudre le problème particulier de cartographie les données entrée-sortie.

Ces résultats indiquent que le modèle PMC trouve des difficultés de généralisation due aux fluctuations saisonnières des paramètres de qualités de l'eau brute et du degré de complexité de l'interaction des paramètres d'entrée ce qui rend la tâche de modéliser la dose de coagulant du procédé encore plus difficile, malgré cet effet de croissance de la complexité de l'interconnexion entre les données d'entrée, le modèle PMC est en mesure de faire des prédictions de bonne qualité.

V. Conclusion

Ce chapitre présente les résultats de l'application de type de réseaux de neurones artificiels pour la prédiction de la dose de coagulant pour le procédé de potabilisation de la station de Hammam Debaghe on utilisant les différents paramètres de qualités des eaux brutes reçu de la retenue du barrage de Bouhamdane.

L'application de ce modèle pour la prédiction de la dose de coagulant présent un intérêt spécial vue leurs simplicité et la facilité d'utilisation pour l'estimation de la dose de coagulant quotidienne du procédé de traitement. Ces résultats peuvent être un très bon indicateur aux exploitants pour servir de support d'aide à la gestion et l'exploitation des différents compartiments du procédé de traitement. Globalement, les résultats montrent que les modèles RNA sont des alternatives prometteuses pour l'estimation de la dose de coagulant. Toutefois, des améliorations supplémentaires aux structures RNA doivent être étudiées.

Conclusion Générale

Notre étude est basée sur la contribution à l'amélioration de la chaîne de traitement de l'eau potable, avec pour cas d'étude la station de traitement de Hammam Debagh à Guelma. Ce travail se divise en deux volets principaux : d'une part, le diagnostic des deux chaînes de production de cette station, l'identification des problèmes et la proposition de solutions pratiques. Et d'autre part la modélisation de la dose optimale de coagulant.

Dans le cadre de notre étude, nous avons réalisé un diagnostic approfondi des deux chaînes de production de la station de traitement. Cela nous a permis de comprendre les différentes étapes du processus de traitement de l'eau et d'identifier les éventuels problèmes rencontrés. Nous avons examiné de près les paramètres de qualité de l'eau à chaque étape du traitement, tels que la turbidité, le pH, la conductivité, la salinité, le chlore, les TDS (Total Dissolve Solide) et la température.

Les résultats obtenus de l'analyse de l'état des lieux et les analyses effectués dans la station afin d'améliorer le fonctionnement des deux décanteurs et les filtres à sable, font ressortir les conclusions et les recommandations suivantes :

Pour la première chaîne de production :

- ❖ Maintenir un entretien périodique, et faire marcher le pont racleur en parallèle avec l'ouverture de vanne d'extraction au moins une seule fois par jour (selon la qualité d'eau brute) pour éviter le colmatage des conduites d'extraction de boues.
- ❖ Le changement des roues du pont racleur et les faire couvrir à fin de les protéger contre le changement de climat période estivale et hivernale (soleil et pluie) permette de garantir un bon rendement de raclage.
- ❖ Avoir une bonne décantation, consternant l'élimination des particules flottant, évite le colmatage des filtres rapidement.
- ❖ Installer un système automatisé complètement. Ce qui permet une précision dans toutes les opérations et l'économie d'efforts, du temps, réduire le risque et garantir un bon process de traitement

Pour la deuxième chaîne de production :

- ❖ La construction de la chambre d'évacuation des floques qui en pas la tempe de décanter

- ❖ L'installation des pompes avec des caractéristiques qui assurent le débit nécessaire pour évacuer les boues et l'eau de lavage vers le recyclage ou bien vers le rejet en assurant que la chambre ne soit pas inondée. Ça garantit le temps nécessaire pour compléter le cycle de lavage des filtres
- ❖ Relier les vannes électriques avec un logiciel évite l'augmentation de l'effort, du temps et de la difficulté à détecter les dysfonctionnements lorsqu'ils surviennent.

Des propositions pour les systèmes automatisés :

- SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).
- HMI (Human-Machine Interface).

Les stations de traitement des eaux se heurtent très souvent à la difficulté de disposer d'un modèle fiable et capable d'exprimer la relation entre toutes les variables descriptives caractérisant l'eau brute et la dose de coagulant injecté durant la phase de clarification. Dans la littérature, des approches de modélisation par des modèles de représentation linéaire et non linéaire ont été proposées. L'hypothèse de base est généralement qu'il s'agit d'une relation entre certaines variables d'entrées (variables explicatives), dont l'étendue varie considérablement d'une variable à une autre, et variable de sortie (variable à expliquer) déterminée dans la plupart des cas par des essais de laboratoire dits Jar-Test. On assiste actuellement au développement d'une technique basée sur l'utilisation de l'intelligence artificielle pour le développement des modèles de procédés complexes. Les modèles RNA développés dans cette étude pour la prédiction de la dose de coagulant ont les caractéristiques positives suivantes :

- Une structure des RNA sont simples, avec une couche cachée et ne nécessitent pas de calculs complexes ;
- Un temps de la formation des réseaux est court ;
- Capable de résoudre des problèmes non linéaires dans le monde réel.

Les modèles RNA développés peuvent être appliqués dans les directions suivantes :

1. En tant que base pour l'optimisation du dosage de coagulation en temps réel, pour l'amélioration du fonctionnement de la station de production d'eau potable de Hammam Debaghe ;
2. Comme un système expert pour les conseils des opérateurs dans la station de production d'eau potable ;
3. Comme une boîte à outils en temps réel des systèmes d'auto-surveillance existants dans les stations d'épuration.

Références bibliographiques

Introduction générale

DESJARDINS, R. 1997. Le traitement des eaux. Edition polytechnique de Montréal. France,

Chapitre I

ABDELGHANI, E. & ABDELAALI, G. 2016. Optimisation de la filtration sur sable : cas de la station de traitement de l'eau potable de Hammam Dbagh Guelma. Mémoire de master, université de 8 mai 1945 Guelma.

MCKINNEY, M. L. 2002. Urbanization, Biodiversity, and Conservation The impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. Bioscience, 52,883-890.

MULLISS, R., REVITT, D. & SHUTES, R. 1997. The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. Water Science and Technology, 36, 195-199.

Chapitre II

A.B.1-C.S.M. (Agence des Bassins Hydrographiques. Constantinois, Seybouse. Mellegue) (2005) Qualité Des Eaux Souterraines Dans Le Bassin De La Seybouse, Rapport Interne

Algéo (Alger Géophysique) (1997). Etude Géophysique Dans La Plaine De Guelma. Rapport Interne, 28 p

BENMARCE K. (2007). Caractéristiques Physico-chimiques Et Isotopiques Des Eaux Souterraines Dans La Région De Guelma (NE algérien) Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 126 p.

C.R.A.A.G. (Centre de Recherches Astronomiques et Géophysiques Algérien) (2004) Etude Géophysique Par Gravimétrie De La Région D'Oued Zenati, Guelma. Rapport Interne. 42 p.

D.P. A.T. (2015). Diction De La Planification et de l'Aménagement du territoire. Rapport Interne. Monographie De La wilaya De Guelma.

DJABRI L. (1996). Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèses de Doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba. 261 p.

E.NA.GEO. (1971). Entreprise Nationale De Géophysique. Etude Géophysique Dans La Région De Guelma. 52 p.

EMSALEM R. (1986). Climatologie Générale. Edition. LP.E.N.A.G. Tome 1. 198p.

FRANCK Rejsek. Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, lycée de borda.

JORA. (2000). Arrête du 26 mars 2000 relatif aux spécifique ions des eaux de boisson préemballées et aux modalités de leur présentation, Journal Officiel de la République Algérienne N°51 du 20 Août 2000.

KHADRI S. (2004). Monographie Hydrogéologique De la Wilaya de Guelma. Mémoire D'ingénieur en Hydrogéologies, Université de Badji Mokhtar Annaba, 82p.

KIRATI B. et BRAHMIA N. (2006). Impacte des eaux d'irrigation sur les eaux souterraine de la plaine Alluviale de Guelma. Mémoire d'ingénieur en Hydrogéologie, Université de Badji Mokhtar Annaba, 113 p.

MOUASSA S. (2006). Impacte du périmètre d'irrigation sur la qualité des eaux souterraine de la nappe alluviale de Guelma et sur les sols. Mémoire de Magister, Université de Badji Mokhtar Annaba.

SOLTNER D. (1999). Les BASES de la production Végétal. Edition. Sciences Technique Agricolt, Tome 2. 396 p.

Chapitre III

BOUCHEMAL, M & HAMDAOUI, C.E.2016. Analyse de la Qualité des eaux de la station de traitement de hammam Debeghe. Mémoire de master, Université Laarbi Ben M'hidi-Oum El Bouaghi 84p.

D.R.E GUELMA 2015. Travaux d'extension du système d'AEP à partir de Hammam Debaghe de la wilaya de Guelma, Dossier Génie Civil, Rapport General 126 p

ZAOUI, I. & GHAOUI, R. 2013. Conception de la station de traitement d'eau potable de Hammam Debagh-Guelma. Mémoire de master Université de 08/1945-Guelma.

Chapitre V

DJEDDOU, M2014. Prévission du taux d'échec avec les réseaux neurones artificiels dans une station de traitement des eaux résiduaire. Université Mohamed Khider Biskra.